

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет біотехнології і біотехніки

Кафедра біотехніки та інженерії

«На правах рукопису»

УДК 66.047.38

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

В.М. Мельник  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«22» згрудка 2019 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування

на тему: «Лінія виробництва твердого біопалива, з розробкою пристрою для  
неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного  
мулу»

Виконав:

студент 2 курсу, групи БІ-81мп  
Хиля Богдан Олександрович

[підпис]

Науковий керівник:

к.т.н., доцент

Ружинська Людмила Іванівна

[підпис]

Консультант з розділу біотехнології:

ст. викл.

Дзигун Лариса Петрівна

[підпис]

Рецензент

З.О. зав. кед. Транслюційної медицини  
біотехнології, д.б.н., проф.

Галкін Олександр Ігорович

[підпис]

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних посилань.

Студент [підпис]

Київ – 2019 року

## **Пояснювальна записка до магістерської дисертації**

на тему:” Лінія виробництва твердого біопалива, з розробкою пристрою для  
неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного  
мулу”

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

**Факультет біотехнології і біотехніки**

**Кафедра біотехніки та інженерії**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою  
Спеціальність (спеціалізація) – 133 «Галузеве машинобудування» («Обладнання  
фармацевтичних та біотехнологічних виробництв»)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

Мельник **В.М.Мельник**  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«23» жовтня 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Хилі Богдану Олександровичу**

Тема дисертації: «Лінія виробництва твердого біопалива, з розробкою пристрою  
для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного  
мулу», науковий керівник дисертації Ружинська Людмила Іванівна, затверджені  
казом по університету від «07» листопада 2019 р. № 3858-с

Термін подання студентом дисертації: 12 грудня 2019 р.

Об'єкт дослідження: пристрій для неперервного формування твердого  
опалива, з використанням активного мулу.

Предмет дослідження: процес сушіння надлишкового активного мулу в пристрої  
для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного  
улу.

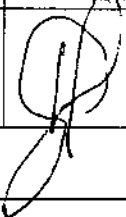

Перелік завдань, які потрібно розробити: провести огляд літератури за темою  
дисертації; теоретичне дослідження; розробка математичної моделі процесу  
шіння надлишкового активного мулу; практична реалізація розробленої  
нструкції; дослідження економічної доцільності виробництва і реалізації  
пропонованої конструкції пристрою для неперервного формування твердого  
опалива, з використанням активного мулу.

Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу: Апаратурно-технологічна схема  
(А1); Пристрій для неперервного формування твердого біопалива, з використанням  
тивного мулу. Складальне креслення (А1) - 4 листи; 3D-модель пристрою для  
перервного формування твердого біопалива, з використанням активного мулу –

(A1), плакат; Математична модель процесу сушіння надлишкового активного мулу – (A1), плакат; Розрахунок на міцність елементів конструкції пристрою для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного мулу – (A1), плакат.

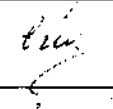
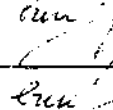
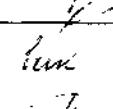
7. Орієнтовний перелік публікацій: Хиля Б.О., Ружинська Л.І. Обладнання для виготовлення біопалива з надлишкового активного мулу. *Біотехнологія XXI століття*: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 19 квіт. 2019 р. Київ: НТУУ “КПІ ім. Ігоря Сікорського”, 2019. С.159; Пристрій неперервної дії для виробництва твердого біопалива: пат. Україна : МПК F26B 15/10. № U 2019 08593; заяв. 18.07.19.

#### 8. Консультанти розділів дисертації


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Біотехнологія	Дзигун Л.П., ст. викл.		

9. Дата видачі завдання 02 вересня 2019р.

#### Календарний план

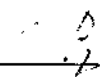
№ з п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літератури; дослідження стану проблеми	02.09.2019- 05.11.2019	
2	Теоретичні дослідження; розробка математичної моделі	11.10.2019- 19.11.2019	
3	Патентний пошук; розробка конструкції пристрою	09.09.2019- 13.10.2019	
4	Комп'ютерне моделювання	11.11.2019- 04.12.2019	
5	Практична реалізація; розроблення технічної документації на пристрій для неперервного формування твердого біопалива	02.11.2019- 28.11.2019	
6	Розроблення стартап-проекту	07.11.2019- 07.12.2019	
7	Оформлення пояснювальної записки, креслень та документації	09.09.2019- 07.12.2019	
8	Підготовка до захисту	08.12.2019- 17.12.2019	

Студент



Хиля Б. О.

Науковий керівник дисертації



Ружинська Л.І



## РЕФЕРАТ

УДК 66.047.38

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему «Лінія виробництва твердого біопалива, з розробкою пристрою для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного мулу» / НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». Керівник к.т.н., доцент Ружинська Л.І. Виконавець Хиля Б.О., студент групи БІ-81мп.

Робота складається з: 5 аркушів креслень на перерахунок формату А1, 3 плакатів формату А1 та пояснювальної записки. Пояснювальна записка складається з переліку умовних позначень, вступу, п'яти розділів, висновку, переліку посилань та додатків. Повний обсяг роботи становить 111 сторінок формату А4, 28 рисунків, 16 таблиць і перелік посилань з 32 найменуваннями.

Об'єкт досліджень - пристрій для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного мулу.

Предмет дослідження - процес сушіння надлишкового активного мулу в пристрої для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного мулу.

Мета досліджень - на основі аналізу особливостей процесу сушіння надлишкового активного мулу, розроблення конструкції пристрою для формування твердого біопалива, який буде задовольняти вимоги, що висуваються до сировини - надлишкового активного мулу.

У магістерській дисертації досліджено розподілення температур і зологовмісту при сушінні надлишкового активного мулу в пристрої для формування твердого біопалива. Наведені розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції спроектованого пристрою неперервної дії для формування твердого біопалива, надані рекомендації щодо монтажу та експлуатації. Розроблена 3D модель у програмі SolidWorks.

**НАДЛИШКОВИЙ АКТИВНИЙ МУЛ, ПРИСТРІЙ НЕПЕРЕРВНОЇ ДІЇ, СУШІННЯ, ТВЕРДЕ БІОПАЛИВО.**

## ABSTRACT

UDC 66.047.38

Master's work on obtaining the educational-qualification degree "Master" on "Line of production of solid biofuels, with the development of a device for continuous formation of solid biofuels, using activated sludge" / NTUU "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Head of the Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Ruzhynska L.I. Performer Hylia B.O., student of the group BI-81mp.

The work consists of: 5 sheets of drawings for re-calculation of A1 format, 3 posters of A1 format and an explanatory note. The explanatory note consists of a list of symbols, introduction, six sections, conclusion, list of references and annexes. The total amount of work is 111 A4 pages, 28 figures, 16 tables and a list of links from 32 titles.

The object of research is a device for the formation of solid biofuels from excess activated sludge.

The subject of the study is the drying process of excess activated sludge in a device for the formation of solid biofuels.

The purpose of the research is to analyze the features of the drying process of excess activated sludge, to develop the design of a device for the formation of solid biofuels, which will meet the requirements for raw materials - excess activated sludge.

The master's thesis investigates the distribution of temperatures and moisture content when drying excess activated sludge in a device for the formation of solid biofuels. The calculations, which confirm the operability and reliability of the design of the device of continuous action for the production of solid biofuels, are given recommendations for installation and operation. A 3D model has been developed in SolidWorks.

EXCESS ACTIVATED SLUDGE, CONTINUOUS ACTION DEVICE,  
DRYING, SOLID BIOFUEL.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП.....	10
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ .....	14
1.1 Біологічне очищення стічних вод .....	14
1.2 Надлишковий активний мул.....	18
1.2.1 Класифікація надлишкового активного мулу .....	20
1.2.2 Характеристика надлишкового активного мулу .....	21
1.2.3 Обробка надлишкового активного мулу .....	22
1.3 Екологічні і економічні проблеми викликані надлишковим активним мулом .....	31
1.4 Методи утилізації надлишкового активного мулу .....	32
1.5 Формування твердого біопалива з використанням надлишкового активного мулу .....	34
1.6 Обладнання для сушіння надлишкового активного мулу .....	35
Висновки.....	41
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ .....	42
2.1 Аналіз особливостей процесу сушіння надлишкового активного мулу ....	42
2.2 Реалізація математичної моделі .....	46
Висновки.....	49
3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ .....	50
3.1 З Б моделювання .....	50
3.2 Розрахунок на міцність елементів конструкції пристрою .....	50
3.2.1 Розрахунок на міцність вала гарячого формування .....	53
3.2.2 Розрахунок на міцність змійовика.....	55
3.2.3 Розрахунок на міцність стрічки.....	57
Висновки.....	60
4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ НЕПЕРЕВНОГО ФОРМУВАННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА .....	61
4.1 Опис технологічної схеми формування твердого біопалива з надлишкового активного мулу .....	61
4.2 Призначення та область застосування пристрою .....	62
4.3 Обґрунтування вибору конструкції і вибір матеріалів.....	63

4.4	Технічна характеристика .....	64
4.5	Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції пристрою.....	66
4.5.1	Визначення часу сушіння .....	67
4.5.2	Матеріальний баланс.....	72
4.5.3	Тепловий баланс .....	74
	Висновки.....	79
5	РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ .....	80
5.1	Резюме.....	80
5.2	Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапа. Загрози і можливості зовнішнього середовища .....	82
5.3	Переваги та недоліки внутрішнього середовища .....	84
5.4	Оцінка ключових факторів успіху проекту Методом Шонфільда .....	86
5.5	Анкета для споживачів з метою визначення їх бачення запропонованої інновації .....	88
5.6	Паспорт клієнта .....	89
5.7	Оцінка ринкової позиції інноваційної розробки.....	90
5.8	Ціна інновації пропозиції на ринку .....	93
5.9	Оптимальна технологія продажу .....	96
5.10	Концепція бізнес-моделі проекту.....	97
5.11	Карта бізнес-процесів реалізації проекту .....	98
5.12	Функції і елементи бізнес процесів.....	101
5.13	Оцінка ризиків і страхування розробки .....	102
	Висновки.....	104
6	РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ .....	105
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	107
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	109
	ДОДАТКИ .....	112
	Додаток А. Патентний пошук.....	112
	Додаток Б. Творчий доробок .....	117
	Додаток В. Специфікації.....	122

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АМ – активний мул;

БПК - біохімічна потреба в кисні;

ХПК - хімічна потреба в кисні;

В-1 – вентилятор;

К-8, К-9, К-13, К-14 – компресор;

КС-4, КС-6 – конвеєр стрічковий;

Кф-12 – калорифер;

Н-1, Н-3 – насос;

Пз-10 – повітрозабірник;

ПФБ-7 – пристрій неперервної дії, для формування твердого біопалива;

Ф-15 – індивідуальний фільтр;

ШД-2 – шнековий дозатор;

ШЗ-5 – шнековий змішувач;

$x$  – вологовміст,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;

$G$  – масова витрата,  $\text{кг/с}$ ;

$t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$W$  – кількість води,  $\text{кг}$ ;

$\omega$  – кількість води;

$I$  – ентальпія,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ;

$L$  – витрата повітря,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;

$l$  – питома витрата повітря,  $\frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ;

$N$  – швидкість сушіння,  $\frac{1}{c}$ ;

$\tau$  – час сушіння, с;

$c$  – теплоємність, Дж/кг·°C;

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

$\lambda$  – коефіцієнт теплопровідності, Вт/м·°C;

$\nu$  – коефіцієнт кінетичної в'язкості, м<sup>2</sup>/с;

$Q$  – кількість теплоти, Вт;

$K$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/м<sup>2</sup>·K;

$\alpha$  – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м<sup>2</sup>·K;

$\beta$  – коефіцієнт масовіддачі,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{кг}}}$ ;

$Re$  – критерій Рейнольдса;

$Nu$  – критерій Нусельта;

$Pr$  – критерій Прандтля;

$Gu$  – критерій Гухмана;

## ВСТУП

Відсоток населення, що обслуговується очисними спорудами стічних вод різниться значно серед країн Європейського Союзу(ЄС). Цей відсоток серед тринадцяти членів країн Організації економіки співпраці та розвитку (ОЕСР) проілюстровано на рисунку 1[1].

Для деяких країн поліпшення кількості, розміру та ефективності відновлення рослини мали б істотний позитивний вплив на якість та здоров'я водних ресурсів середовища.

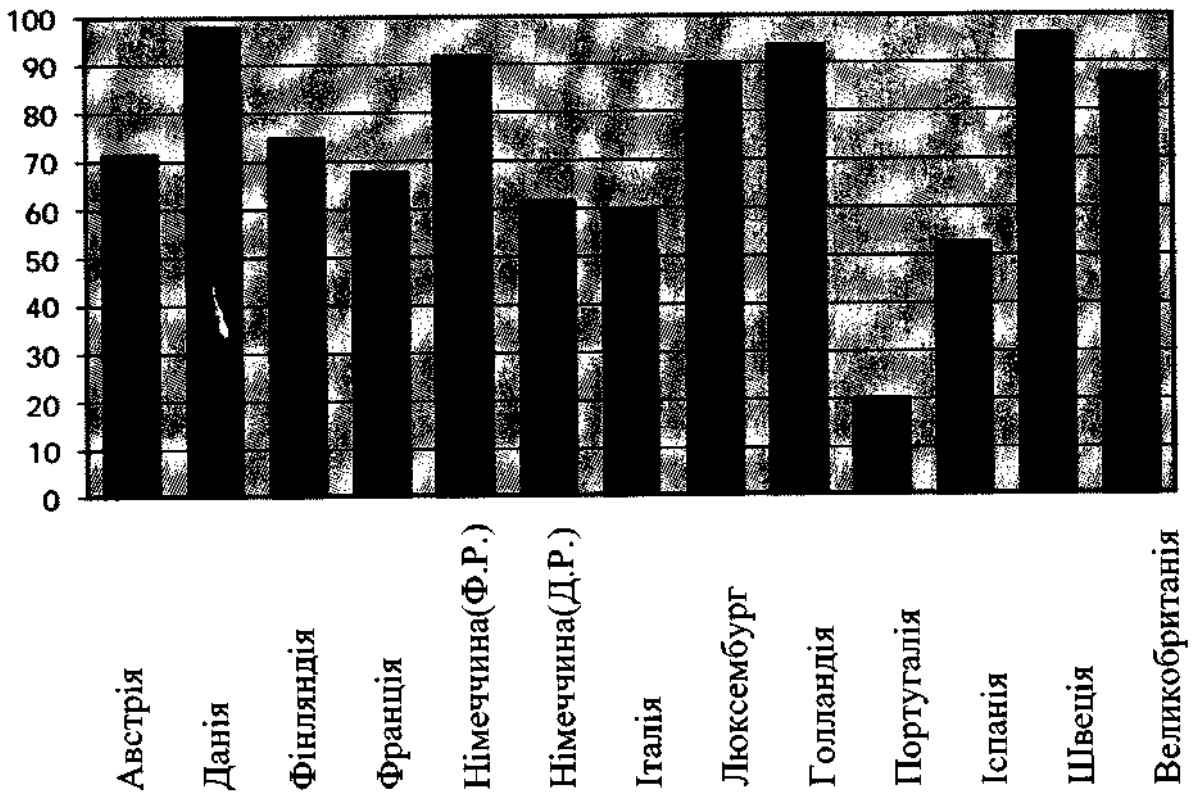


Рисунок 1 — Відсоток населення країн ОЕСР, що обслуговується очисними спорудами стічних вод

Суха маса на душу населення виробництва мулу стічних вод, що гтворюється в результаті первинного і вторинного очищення становить близько 90 грамів на добу, на людину, що більш-менш однаково у всіх Країни ЄС, де муніципальні громади обслуговуються двома станціями по очищенню стічних вод з фізичним, механічним та біологічним методами очищення. Після впровадження Директива щодо очищення міських стічних вод (UWWTD)

(91/271 / ЄЕС) переважна більшість населення ЄС-15 буде обслуговуватися очисними спорудами, по очищенню стічних вод до 2020 року. Очікується, що це буде генерувати близько 10,7 мільйона тон (суха маса) осаду стічних вод щороку, що на 38% більше, ніж 7,7 мільйона тон, вироблених сьогодні. Цей накопичувальний відсоток розподіляється між членами ОЕСР[1].

Інформація про методи та підходи використовуються різними країнами- методів утилізація осаду стічних вод залишається невизначеною. У деяких європейських країнах основна практика - це сміттєзвалище (від 50 до 75%), а решта - утилізація на сільськогосподарських полях як кондиціонер для ґрунту / добрива (від 25 до 35%) або в інших місцях утилізації (наприклад, парки, відновлення земель та озеленення)[1].

Використання сировинного мулу або інших методів компостування в сільському господарстві заохочується національними влада як найкращий спосіб переробки, тоді як спалювання вважається найгіршим. Директива 86/278 / ЄЕС про осад стічних вод у сільському господарстві вимагає, щоб ніхто не міг використовувати осад стічних вод на сільськогосподарському угідді, якщо не виконуються конкретні вимоги. Директива має на меті уникнути накопичення токсичних речовин, особливо важких металів, які могли б досягти надмірного рівня в ґрунті.

На рисунку 2 наведено дані з утилізації осадів стічних вод у різних країнах світу [2].



Країна	Спосіб утилізації, %				
	захоро- нення	спалю- вання	сільське гос- п. (добрива)	будівельні матеріали	інше
США	28	15	47	6	4
Китай	14	-	3	-	83
Японія	20	15	11	52	2
Швеція	22	5	23	-	50
Фінляндія	-	-	10	-	90
Польща	18	3	22	-	57
Велика Бри- танія	7	17	69	-	7
Німеччина	5	51	30	-	13
Нідерланди	5	68	-	20	7
Іспанія	17	5	65	-	13
Португалія	7	-	87	-	6
Україна	95	-	5	-	-

Рисунок 2 - Способи утилізації осадів стічних вод у світі

Морські захоронення зараз заборонені, а підземні будуть регламентовані, якщо буде прийнята нова директива про захоронення то утилізація органічного вмісту стане обов'язковим. Остаточна утилізація осаду стічних вод залишається невирішеною проблемою; тому, що кількість виробленого осаду збільшується, а, сільське господарство може поглинати лише обмежену кількість добрив у вигляді сухого активного мулу. І тут постає питання про нові методи утилізації осадів стічних вод.

У США та Китаї його використовують для виробництва біогазу, в Японії та Нідерландах - для виділення цінних компонентів (фосфору, азоту, вуглецю тощо) та виробництва будівельних матеріалів. У деяких країнах Європейського Союзу осад стічних вод використовують для рекультивації та меліорації порушених земель.

Об'єкт дослідження цієї роботи - це пристрій для формування твердого біопалива з надлишкового активного мулу. Пристрій призначений для утилізації надлишкового активного мулу, за допомогою перетворення його на тверде біопаливо.

Зола, що утворюється унаслідок спалювання може бути використана для виробництва будівельних матеріалів: цеглу, асфальт, штучного каменю, тощо. Ця практика вже давно використовується в США.

Виробництво твердого біопалива з надлишкового активного мулу, дає змогу залучити інвесторів до цієї проблеми, так як з економічного аналізу, який був проведений у роботі, виробництво твердого біопалива з такої сировини, як надлишковий активний мул є вигідним з грошової точки зору.

Метою дослідження є аналізу особливостей процесу сушіння надлишкового активного мулу, розроблення конструкції пристрою для формування твердого біопалива, який буде задовольняти вимоги, що висуваються до сировини - надлишкового активного мулу.

Під час проектування пристрою для формування твердого біопалива постало питання формування листа матеріалу, який буде сушитися на стрічковій сушарці. Для вирішення цього питання у майбутній пристрій було встановлено додаткові вали гарячого формування. Після додаткових модифікацій і розрахунків був спроектований пристрій неперервної дії, для формування твердого біопалива з активного мулу.

## 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

### 1.1 Біологічне очищення стічних вод

Біологічне очищення стічних вод - основний спосіб очищення стічних вод, що містять забруднення органічного походження, що полягає в мінералізації цих забруднень внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів. У процесі дихання мікробів органічні речовини окислюються, і звільняється енергія, необхідна для життєвих функцій.

Стічні води, що направляються на біологічне очищення, характеризуються величинами БПК і ХПК

БПК - біохімічна потреба в кисні, або кількість кисню, використаного при біохімічних процесах окислення органічних речовин за певний проміжок часу (добу), в мг  $O_2$  на 1 мг речовини.

ХПК - хімічна потреба в кисні, тобто кількість кисню, еквівалентну кількості витрачається окиснювача, необхідного для окислення всіх відновників, що містяться у воді. ХПК також виражається в мг  $O_2$  на 1 мг речовини.

Розрізняють аеробні та анаеробні методи біологічного очищення стічних вод.

Аеробні методи біологічного очищення стічних вод протікають в присутності кисню. Вони засновані на використанні аеробних груп організмів, для життєдіяльності яких необхідний постійний приплив кисню і температура 20-40 °C.

Анаеробні методи біологічного очищення стічних вод протікають без доступу кисню. Їх використовують головним чином для знешкодження осадів.

Процес біологічного очищення стічних вод від органічних речовин в аеротенках складається з таких етапів:

1. адсорбція і коагуляція активним мулом зважених і колоїдних частинок;
2. окислення мікроорганізмами розчинених і адсорбованих мулом органічних сполук;
3. нітрифікація і регенерація активного мулу. Надлишковий активний мул видаляється з споруди.

В результаті двоступеневої біохімічного очищення при періоді аерації в аеротенках першого ступеня 2-2,5 год і аеротенки другого ступеня 4-6 ч, при тій же якості вихідного стоку був отриманий вищий ефект зниження ефіро-розчинних речовин - 70%, БПК - 90%, ГПК - 50%. Витік зважених речовин з відстійників знизився до 20-40 мг/л.

На практиці застосовуються одноступінчасті і багатоступінчасті системи очищення (Рисунок 1.1).

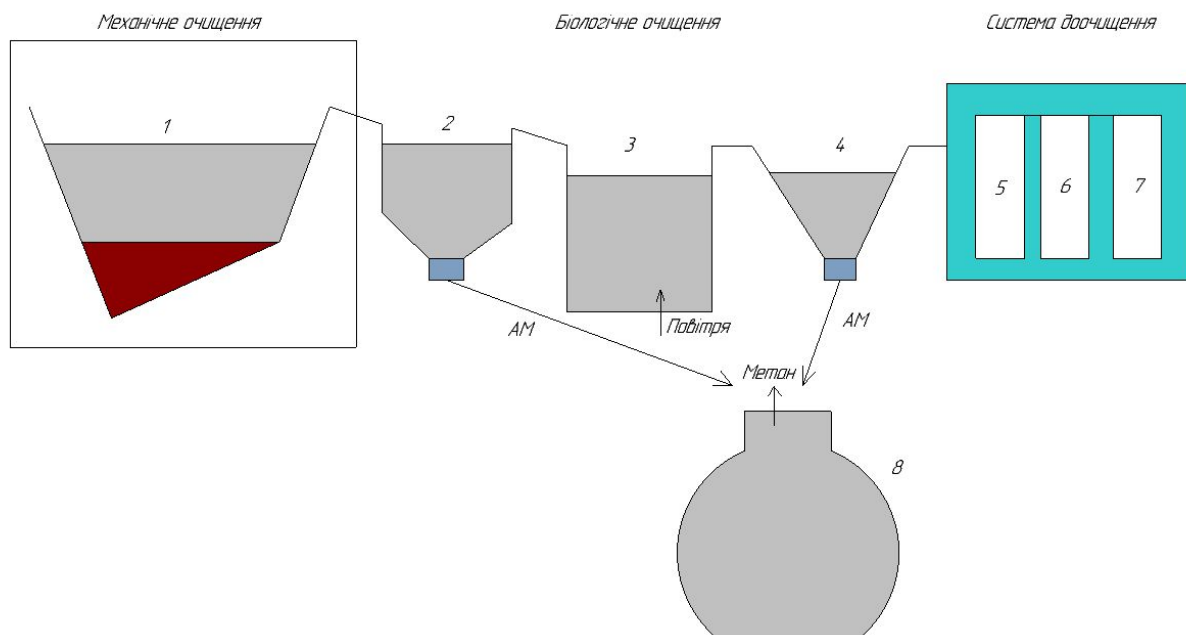


Рисунок 1.1 – Принципова схема очисних споруд:

1 – пісковловлювач; 2 – первинний відстійник; 3 – аеротенк; 4 – вторинний відстійник; 5 – біологічний став; 6 – освітлення; 7 – реагентна обробка; 8 – метантенк; АМ – активний мул.

Стічні води надходять в усереднювач, де відбувається інтенсивне перемішування стоків з різним якісним і кількісним складом. Перемішування здійснюється за рахунок подачі повітря. В разі необхідності в усереднювач подаються також біогенні елементи в необхідних кількостях і аміачна вода для створення певного значення рН. Час перебування в усереднювачі становить зазвичай кілька годин. У пісковловлювачі і первинних відстійниках відбувається відділення води, що очищується від грубих суспензій і нафтопродуктів, що утворюють плівку на поверхні води.

Біологічне очищення води відбувається в аеротенках. Аеротенк являє собою відкриту залізобетонну споруду, через яку проходить стічна вода, що містить органічні забруднення і активний мул. Суспензія мулу в стічній воді протягом усього часу перебування в аеротенки піддається аерації повітрям. Інтенсивна аерація суспензії активного мулу киснем призводить до відновлення його здатності сорбувати органічні домішки. В основі біологічного очищення води лежить діяльність активного мулу (АМ) або біоплівки, природного біоценозу, що формується на кожному конкретному виробництві в залежності від складу стічних вод і обраного режиму очищення.

Активний мул - це суміш біомаси мікроорганізмів і забруднюючих речовин разом із вступниками в аеротенк стічними водами.

Активний мул являє собою темно-коричневі пластівці розміром до декількох сотень мікрометрів. На 70% він складається з живих організмів і на 30% - з твердих частинок неорганічної природи. Живі організми разом з твердим носієм утворюють зооглею - симбіоз популяцій мікроорганізмів, покритий загальною слизовою оболонкою. Залежно від зовнішнього середовища, якої в даному випадку є стічна вода, та чи інша група бактерій може виявитися переважною, а інші стають супутниками основної групи [3 ].

Істотна роль в створенні і функціонуванні активного мулу належить найпростішим. Функції найпростіших досить різноманітні; вони самі не беруть безпосередньої участі в споживанні органічних речовин, але регулюють віковий

і видовий склад мікроорганізмів в активному мулі, підтримуючи його на певному рівні.

При зміні складу стічної води може збільшитися чисельність одного з видів мікроорганізмів, але інші культури все одно залишаються в складі біоценозу.

Показником якості активного мулу є коефіцієнт протозойності  $K_{pg}$ , який відображає співвідношення кількості клітин найпростіших мікроорганізмів до кількості бактеріальних клітин. У високоякісному мулі на 1 мільйон бактеріальних клітин має припадати 10-15 клітин найпростіших організмів, середньої якості доводиться, відповідно, 5-9, поганої якості - близько 1-4 найпростіших[3].

На формування ценозів активного мулу можуть впливати і сезонні коливання температури, забезпеченість киснем, присутність мінеральних компонентів. Все це робить склад складним і практично невідтворюваних. Ефективність роботи очисних споруд залежить також від концентрації мікроорганізмів в стічних водах і віку активного мулу. В звичайних аеротенках поточна концентрація активного мулу не перевищує 2-4 г / л[3].

Збільшення концентрації мулу в стічній воді призводить до зростання швидкості очищення, але вимагає посилення аерації, для підтримки концентрації кисню на необхідному рівні. Таким чином, аеробне переробка стоків включає в себе наступні стадії:

1. Адсорбція субстрату на клітинної поверхні.
2. Розщеплення адсорбованого субстрату позаклітинними ферментами.
3. Поглинання клітинами розчинених речовин.
4. Зростання і ендогенне дихання.
5. Вивільнення екскретованих продуктів.
6. Споживання первинної популяції організмів вторинними

споживачами.

В ідеалі це повинно приводити до повної мінералізації відходів до простих солей, газів і води. На практиці очищена вода і активний мул з аеротенка

надходить до вторинного відстійника, де відбувається відділення активного мулу від води. Частина активного мулу повертається в систему очищення, а надлишок активного мулу, що утворився в результаті зростання мікроорганізмів, надходить на мулові стави, де зневоднюється і вивозиться на поля.

## 1.2 Надлишковий активний мул

У процесах механічного, біологічного та фізико-хімічного очищення стічних вод на очисних спорудах утворюються осад, що містять органічні і мінеральні компоненти - цей осад і називається надлишковим активним мулом. Обсяг вологих осадів становить 2-10% від обсягу води що очищується. Вміст сухої речовини в осадах в залежності від їх виду знаходиться в межах від 0,3 до 7%. В Україні утворюється близько 3 млн. т. (по абсолютно сухій речовині) осадів на рік, в США - 6,5, у Великобританії - 1,1, в Німеччині - 2,4, у Франції - 0,8, в Японії - 2,8 млн. т[2].

*Первинні осад.* До них відносять грубодисперсні домішки, які знаходяться у твердій фазі і виділені з води методами механічного очищення (седиментація, флотація, фільтрація, осадження в відцентровому полі).

Грубі осад затримуються ґратами. До складу таких осадів входять великі зважені і плаваючі домішки, переважно органічного походження: папір, ганчір'я, деревина, полімерні матеріали та ін. Грубі осад часто піддаються дробленню з подальшим випуском їх в канал перед ґратами. Переробка таких осадів разом з іншими може здійснюватися в метантенках, на піролізних установках або вони направляються на компостування.

Важкі осад (пісок, каміння, цегла, вугілля, бите скло) затримуються пісковловлювачем. Вологість важких осадів становить близько 60%[5].

Плаваючі осад уловлюються жироловками або спливають у відстійниках.

Сирі осади затримуються первинними відстійниками. У побутових стічних водах ці осади представляють собою драглисту, в'язку суспензію, яка містить до 60-75% органічних речовин. Вологість осадів при самопливному видаленні після 2-годинного відстоювання становить 95%, при видаленні плунжерними насосами - 93-94%[5].

*Вторинні осади.* До них відносять домішки, які спочатку перебували у воді у вигляді колоїдів, молекул, іонів, але в процесі біологічного або фізико-хімічного очищення були переведені в тверду фазу і видалені з стічних вод. Осад, який утворюється після біологічної очистки, - надлишковий активний мул, після фізико-хімічного очищення - шлам.

Активний мул, затримуваний вторинними відстійниками після аеротенків, являє собою пластівчасту масу бурого кольору, що володіє флокулюючих властивостями. За механічним складом він відноситься до тонких суспензій, оскільки на 98% по масі складається з частинок розмірами менше 1 мм. Активний мул відрізняється високою вологістю, яка досягає 99,2-99,7%. вміст органічних речовин в активному мулі становить 70-75%, в тому числі: білків — 45 50%, жирів - 15-20%, вуглеводів - 5-8%. У порівнянні з сирим осадом із первинних відстійників активний мул містить білків вдвічі більше, а вуглеводів в 2,5-3 рази менше. Сирий активний мул має в своєму складі патогенні мікроорганізми і яйця гельмінтів. Висока вологість і хімічний склад мулу обумовлюють його здатність до мимовільного розкладання з утворенням специфічного гнильного запаху [4].

Вологість надлишкової біоплівки, що виноситься з біофільтрів, після вторинних відстійників становить 96% [4].

Шлами при фізико-хімічному очищенню виділяються із застосуванням реагентів, адсорбції, іонного обміну, екстракції та інших методів і затримуються зідстійниками або іншими спорудами.

*Форми зв'язку вологи.* Всі осади мають дуже високу вологість. Умови і ступінь видалення вологи з осадів визначаються їх структурою і особливостями



розподілу води. Волога в структурі осаду може перебувати у вільному стані, в фізико-механічному зв'язку з твердими частинками, а також у вигляді фізико-хімічно і хімічно зв'язаних.

Вільна волога має найменшу енергію зв'язку зі структурою осаду і може бути з нього видалена механічними методами і природною сушкою осадів на мулових майданчиках.

Фізико-механічно зв'язана волога - це капілярна вода, вода змочування і структурна волога. Фізико-механічний зв'язок порушується при випаровуванні і видаленні вологи під тиском.

Фізико-хімічним зв'язком утримується адсорбційна і осмотична волога.

Хімічно зв'язана вода, що входить до складу речовин, не виділяється навіть при термічній сушці осадів.

### 1.2.1 Класифікація надлишкового активного мулу

Виділяють три основні категорії надлишкового активного мулу, що утворюються після біологічного очищення стічних вод:

1. Мул, що походить від очищення міських стічних вод, що складається з побутових стічних вод або суміші побутових стічних вод з промисловими стічними водами та / або стікаючою дощовою водою.

2. Мул, що походить від очищення промислових стічних вод, тобто води, що використовується в промислових процесах.

3. Мул від очищення питної води. Воду доводиться обробляти до її споживання. Кількість мулу, що утворюється при очищенні питної води, значно менша, ніж утворилася в результаті очищення стічних вод.

Найбільша кількість надлишкового активного мулу утворюється внаслідок очищення промислових стічних вод та становить приблизно 63% від загальної кількості, для України.

1.2.2 Характеристика надлишкового активного мулу

Характеристики надлишкового активного мулу залежать від вихідного забруднення води, що очищується, а також від технічних характеристик проведеного очищення. Обробка води концентрує забруднення присутні у воді, тому шлам містить велику кількість зважених і розчинених речовин. Деякі сполуки можуть бути корисними для повторного використання (органічні речовини, азот, фосфор, калій, кальцій тощо), тоді як інші сполуки є забруднюючими речовинами (такими як важкі метали, органічні забруднювачі та патогени).

Таблиця 1.1 - Середній склад осадів стічних вод

Параметр,	Ahmed et al., 2010	Tyagi & Lo, 2013	Dubovyi & Tabakaieva, 2014	Hamood & Khatib, 2016	Kaletnik & Honcharuk, 2016	Paya et al., 2018
Суха речовина, %	-	5-9	-	6	-	2-8
Азот, %	3	1,5-4	0,7-1,5	2,5	3,02	1,5-4
Фосфор, %	2	0,8-2,8	0,9-1,4	1,6	2,33	0,8-2,8
Калій, %	0,5	0-1	0,1-0,2	0,4	0,21	0-1
Магній, %	1,5	-	-	-	0,95	-
Кальцій, %	50	-	-	-	3,48	-
pH	-	5-8	5,3-6,7	6	-	-
Органічна речовина, %	65	-	41-45	-	-	-

У таблиці 1.1 представлено середній склад осадів стічних вод за різними дослідженнями (Ahmed et al., 2010; Dubovyi & Tabakaieva, 2014; Hamood & Khatib, 2016; Kaletnik & Honcharuk, 2016; Paya et al., 2018; Tyagi & Lo, 2013)[7].

Представлені в таблиці 1.1 дані свідчать про те, що середній склад осадів стічних вод є практично однаковим у дослідженнях всіх авторів, проте спостерігаємо і деякі відмінності. Це може бути пов'язано з географічним розташуванням станцій очищення стічних вод, сезоном відбору проб, а також наявністю промислових об'єктів. Загалом, як видно з таблиці 1.1, досліджувані

зразки осадів стічних вод у необхідній кількості містять усі основні біогенні елементи, такі як: фосфор  $\sim 2,5 \%$ , азот  $\sim 4 \%$  та калій  $\sim 0,5 \%$ [7].

### 1.2.3 Обробка надлишкового активного мулу

Обробка надлишкового активного мулу проводиться з метою отримання кінцевого продукту, що завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу або придатного для утилізації. Ця мета досягається при виконанні трьох основних умов:

1. Зменшення обсягу осаду за рахунок його ущільнення і зневоднення.
2. Стабілізація, яка обумовлює тривале зберігання осадів без розкладання.
3. Знезаражування, тобто забезпечення безпеки осадів по санітарно-бактеріологічними показниками.

На рисунку 1.2 наведено класифікацію методів обробки осадів.

#### ***Ущільнення осадів.***

Надлишковий активний мул, що має високу вологість, ущільнюють для зменшення об'єму. На сучасних очисних спорудах пристрій мулоущільнювач є обов'язковим.

Ущільнення можуть піддаватися осади з первинних відстійників, надлишковий активний мул, суміш осаду первинних відстійників і надлишкового активного мулу. На рисунку 1.3 наведені варіанти розположення мулоущільнювачів на схемі станції очищення стічних вод з використанням аеротенків.

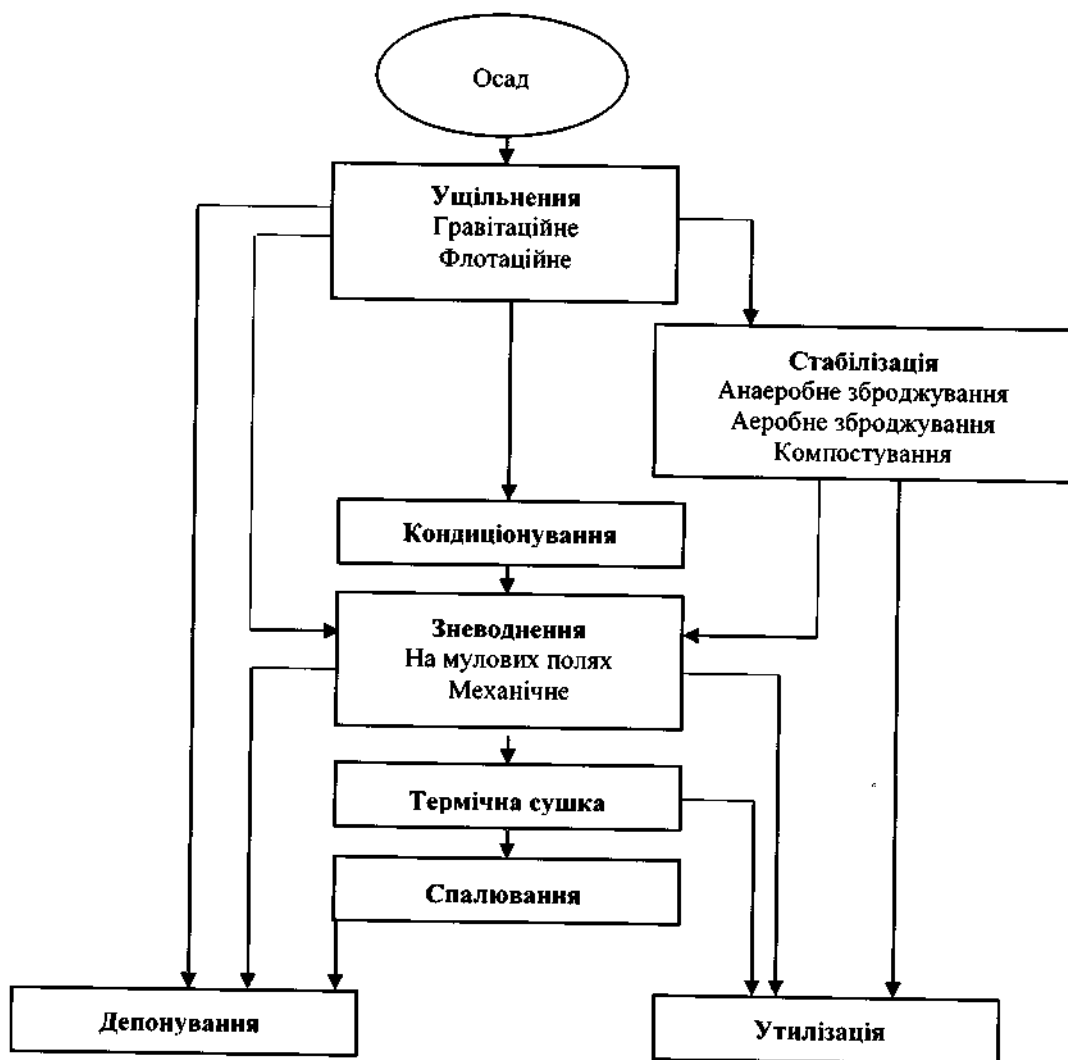


Рисунок 1.2- Класифікація методів обробки осадів

У першому варіанті (Рисунок 1.3, а) надлишковий активний мул неперервно надходить в мулоущільнювач, де віддає основну масу вільної вологи у вигляді мулової води, і подається на подальшу обробку. Мулова вода містить значну кількість розчинених органічних речовин і повертається в схему знищення перед аеротенках.

У другому варіанті (Рисунок 1.3, б) ущільненню в окремому мулоущільнювачі піддається осад з первинних відстійників, що полегшує наступну обробку осадів. Відокремлена вода містить зважені речовини і подається в схему перед первинними відстійниками.

За схемою третього варіанту (Рисунок 1.3, в) реалізується спільне ущільнення надлишкового активного мулу і осаду з первинних відстійників.

І, нарешті, в четвертому варіанті (Рисунок 1.3, г) ущільнення осадів відбувається без мулоущільнювача. Активний мул подається в пре-аератори в об'ємі, що перевищує його надмірну кількість, звідки зі стічною водою надходить в первинні відстійники. Активний мул, що виноситься з первинних відстійників, компенсує відсутню частину циркулюючого, що подається в аеротенки. Таким чином, в пре-аератори відправляється така частина активного мулу, яка перевищує його надмірну кількість, але дозволяє виділити в первинних відстійниках весь надлишковий активний мул. За цією схемою виходить один вид осаду - суміш сирого осаду і активного мулу.

На вибір оптимальної схеми впливають не тільки тип муловловлювачів, а й властивості активного мулу, які залежать від складу стічних вод, ступеня очищення та ін. Наприклад, активний мул при неповній біологічній очистці ущільнюється значно краще, ніж при повній, а мулова суміш з аеротенків ущільнюється швидше, ніж активний мул з вторинних відстійників.

Для зменшення обсягу надлишкового активного мулу найбільшого поширення набуло **гравітаційне мулоущільнення**. Використовуються радіальні і вертикальні муловловлювачі, конструкції яких аналогічні конструкціям первинних відстійників.

Найбільшою ефективністю володіють радіальні мулоущільнювачі з мулоскребками. Вони мають меншу висоту в порівнянні з вертикальними, а повільне перемішування сприяє кращому утворенню пластівців і осадженню.

Вологість активного мулу після гравітаційного ущільнення тривалістю 9- 11 год становить 97-98%. Суміш осаду з первинних відстійників і активного мулу при тривалості ущільнення 7-10 год досягає вологості 93-95%. Мулова суміш з аеротенків за 5-8 год ущільнюється до вологості 97%[8].

Для підвищення ступеня ущільнення і скорочення тривалості процесу застосовують хімічні реагенти (коагулянти), термообробку осаду (при нагріванні

руйнуються гідратні оболонки навколо частинок, частина зв'язаної води переходить в вільну), розведення активного мулу очищеної стічної водою.

**Флотаційне ущільнення** рекомендується для флокуло утворюючої структури активного мулу, причому концентрація по сухій речовині не повинна перевищувати 6-8 г / дм<sup>3</sup>. Надлишковий активний мул насичується повітрям під тиском, рівномірно розподіляється по перетину флотатора, спливає і віддаляється. Нижня частина флотатора використовується як зона відстоювання для видалення щільних частинок[9].

При флотаційному ущільненні вологість ущільненого осаду становить 95- 97%. Для інтенсифікації процесу мулоущільнення і зниження вологості осаду в деяких випадках використовують додавання поліелектролітів[9].

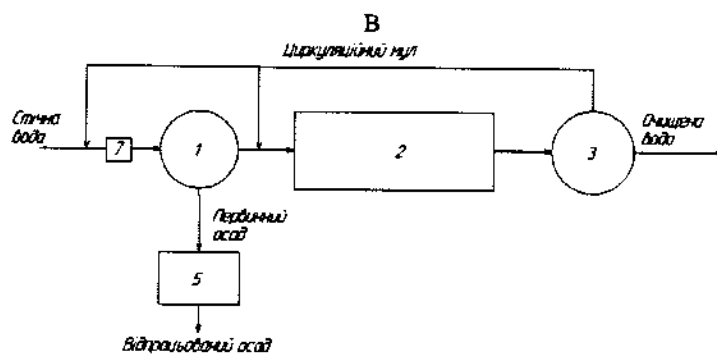
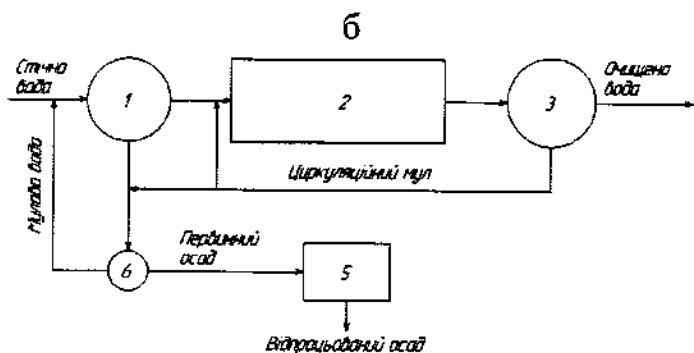
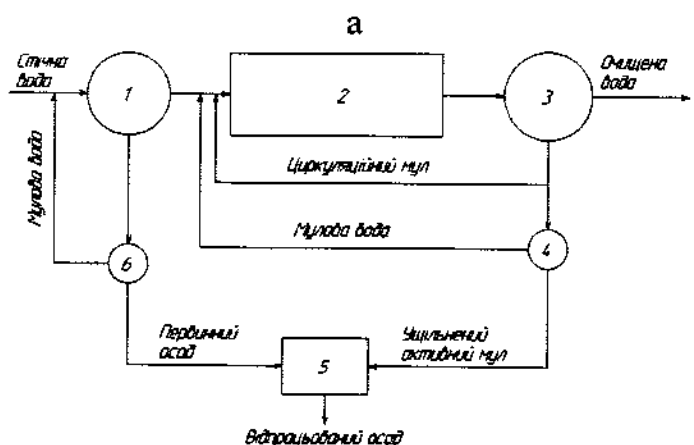
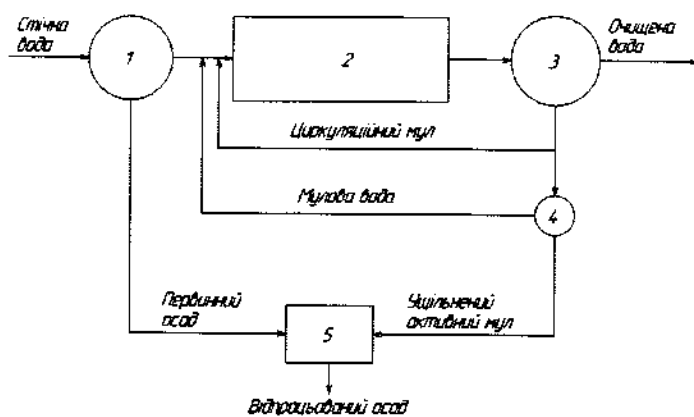
Флотаційне ущільнення здійснюється в 10-15 разів швидше, ніж гравітаційне, однак при цьому зростають експлуатаційні витрати [9].

### ***Стабілізація осадів.***

Стабілізація первинних і вторинних осадів досягається шляхом розкладання органічної частини до простих сполук або стійких в умовах навколишнього середовища продуктів. Ефект стабілізації може бути досягнутий біологічними (анаеробне зброджування, аеробне мінералізація, компостування), хімічними (реагентна обробка) методами або їх комбінацією.

**Анаеробна стабілізація.** При невеликій кількості осадів застосовують дептики, двох'ярусні відстійники й освітлювачі, в яких біологічний процес розкладання органічної маси здійснюється в умовах навколишнього середовища.

**Аеробна стабілізація.** Аеробного стабілізації може піддаватися гіеущільнений і ущільнений надлишковий активний мул і його суміш з осадом первинних відстійників.



Г

Рисунок 1.3 - Варіанти розположення муловловлювачів:

1 — первинний відстійник; 2 — аеротенк; 3 — вторинний відстійник; 4 — муловловлювач; 5 - блок обробки осадів; 6 — осадовловлювач; 7 — преаератор.

**Анаеробно-аеробна стабілізація.** При поєднанні термофільного зброджування з аеробного мінералізацією досягається знезараження осаду і хороші показники вологовіддачі. Якщо на анаеробній стадії досягають глибокого розкладання органічних речовин, то аеробний реактор розраховують тільки на період часу, необхідний для поліпшення водо віддачі стабілізованого осаду.

**Компостування.** Процес компостування ефективно йде при вологості осадів, що не перевищує 60-80%, оптимальне співвідношення вуглецю та азоту становить C: N = (20-30): 1 [11].

Для створення пористої структури осаду, досягнення потрібної вологості і необхідного співвідношення вуглецю і азоту, які забезпечують проведення процесу в аеробних умовах, осад змішують з наповнювачем. Як розпушувач і волого-поглинаючі добавки використовують деревне борошно, тирсу, листя, соломку, торф та інші подібні компоненти.

**Реагентна стабілізація.** Введення реагентів надає в основному бактерицидну дію і не впливає на кількість біологічно руйнуються органічних речовин. Тому реагентна стабілізація може застосовуватися як тимчасова міра в тому випадку, якщо в спорудах для основного процесу проводяться профілактичні роботи, ремонт, реконструкція.

### ***Кондиціонування осадів.***

Осади, що утворюються на очисних спорудах, як правило, характеризуються дуже низькими коефіцієнтами вологовіддачі. Для глибокого і швидкого їх зневоднення необхідно змінити структуру осадів таким чином, щоб збільшити вміст вільної води за рахунок зменшення частки пов'язаної, наприклад, при укрупненні частинок.

Процеси підготовки осадів до зневоднення називають кондиціонуванням.

### ***Зневоднення осадів.***

**Зневоднення на мулових майданчиках.** Мулові майданчики призначені для зневоднення осадів, що утворюються на станціях біологічного очищення



стічних вод. Це одні з перших споруд для обробки осадів. Їх перевагами є простота інженерного забезпечення та легкість експлуатації.

Майданчики інтенсивного зневоднення і сушіння. До цієї категорії відносяться майданчики, на яких природні процеси видозмінені та інтенсифіковані. Це можуть бути майданчики зі штучним дренажем, створенням вакууму в дренажній системі, зі штучним водонепроникним покриттям, підігрівом.

Механічне зневоднення осадів. Основними недоліками зневоднення осадів на мулових майданчиках є велика площа займаних земельних ділянок, яких поблизу міст відчувається дефіцит, і створення несприятливої екологічної обстановки поблизу майданчиків.

Зневоднення осадів на вакуум-фільтрах. Оскільки осади стічних вод внаслідок своєї структури здатні швидко замулюється фільтрувальну тканину, ефективно застосування барабанних вакуум-фільтрів із висхідним полотном, в яких неперервно виробляється регенерація фільтрувальної тканини.

Центрифугування опадів. Даний спосіб знаходить все більше широке розповсюдження. Перевагами цього методу є простота, можливість управляти процесом і низька вологість одержуваних осадів.

### ***Термічна сушка осадів.***

Термічна сушка призначена для знезараження і зменшення маси осадів стічних вод.

Термічної сушінні піддають попередньо зневоднені на вакуум-фільтрах, центрифугах або фільтр-пресах осади.

Таблиця 1.2 - Зіставлення методів механічного зневоднення осадів стічних вод

Апарати, які застосовуються для зневоднення	Переваги	Недоліки
Вакуум-фільтри	Відсутність швидкозношуваних вузлів.  Скорочення паливно-енергетичних витрат на термосушку	Застосування реагентів, вакуум-насосів.  необхідність періодичної заміни фільтрувальної тканини.  Підвищений витрата електроенергії
Стрічкові фільтр-преси	Відсутність швидкозношуваних вузлів. Зменшення витрат електроенергії.  Відсутність необхідності виділення великих включень і піску з осадів	У порівнянні з вакуум-фільтрами - підвищені паливно-енергетичні витрати на термосушку.  У порівнянні з центрифугами - збільшені габарити.  Необхідність періодичної заміни фільтрувальної тканини
Камерні і рамні фільтр-преси	Низька вологість зневодненого осаду.	Низька питома продуктивність.  Підвищений витрата реагентів.

	Скорочення паливно-енергетичних витрат на термосушку	Періодичність дії. Необхідність заміни фільтрувального полотна в міру зносу
Центрифуги	Компактність установок. Можливість зневоднення без реагентів	Необхідність вилучення з осадів великих включень і піску. Необхідність періодичної наплавлення або заміни шнеків. У порівнянні з вакуум-фільтрів - підвищені паливно-енергетичні витрати на термосушку

### *Спалювання осадів.*

Спалювання осадів здійснюють, якщо їх утилізація неможлива або економічно недоцільна. Перед спалюванням осади механічно зневоднюють або піддають термічній сушці, або проводять обидва процеси.

В осадах можуть бути присутніми або утворитися при спалюванні токсичні сечовини, що викликає серйозні труднощі при очищенні газів перед викидом в атмосферу.

### 1.3 Екологічні і економічні проблеми викликані надлишковим активним мулом

Упродовж останніх десятиліть катастрофічно зростають масштаби утворення та накопичення різноманітних відходів, що призводить до відчуження нових територій та забруднення довкілля. Одним з таких, стрімко зростаючих за кількістю, видів відходів є осади стічних вод.

Так, щорічно на одну людину витрачається приблизно  $55 \text{ м}^3$  чистої води. Кожен населений пункт генерує до 250 кг осадів стічних вод за рік на одного жителя. Практично будь-яке велике місто за десятиліття накопичує мільйони тонн відходів. За статистичними даними, в Україні щорічно утворюється близько 40 млн. т осадів стічних вод, а потреба в мулових майданчиках для їх розміщення складає 120 га/рік[12].

Відомо, що мулові майданчики є надзвичайно серйозною екологічною проблемою. Внаслідок того, що більшість з них заповнена, вони справляють негативний вплив на навколишнє середовище. Це свідчить про актуальність та необхідність вирішення проблеми обробки та утилізації осадів стічних вод.

Цій проблемі в світі приділяється значна увага. Так, в країнах Європи на очисних спорудах зводяться енергетичні комплекси, джерелом енергії для яких є осад стічних вод. Це дозволяє з відходів отримувати прибутки і одночасно поліпшувати стан довкілля.

В Польщі утилізують високотоксичні осади міських стічних вод в підстилаючий шар дорожнього покриття. У Франції 50-60 % осаду стічних вод використовуються у якості органічних добрив; 20-25 % вивозяться на звалища твердих побутових відходів; а 15-20 % - спалюються на сміттєспалювальних заводах[14].

В Ізраїлі рідкий зброджений осад широко використовується для закріплення рухомих пісків. В багатьох інших країнах з його допомогою створюють ґрунтовий шар в піщаних районах. На таких штучно створених землях будуються спортивні майданчики та парки.

Як бачимо, у розвинених країнах осади стічних вод знаходять широке застосування, що дозволяє істотно зменшити навантаження на навколишнє середовище.

1.4 Методи утилізації надлишкового активного мулу

**Застосування осадів в якості добрив.** Осади стічних вод містять біогенні елементи (Таблиця 1.3), необхідні для розвитку рослин мікроелементи і органічні сполуки. Тому вони можуть представляти інтерес в агротехніці як органічне добриво і засіб для поліпшення структури ґрунту. Внесення осадів зменшує кислотність ґрунту, збільшує вміст азоту, фосфору, гумусових речовин. Особливо сприятливо діють на кислі ґрунти осади, оброблені вапном.

Таблиця 1.3- Вміст біогенних елементів в осадах стічних вод,% від маси сухої речовини

Вид осаду	Вміст біогенних елементів		
	Азот	Фосфор	Калій
Сирий осад	1,6–6,0	0,6–5,2	0,1–0,6
Зброджений осад	1,7–7,5	0,9–6,6	0,2–0,5
Активний мул	2,4–10,0	2,3–8,0	0,3–0,4
Суміш осаду первинних відстійників і активного мулу	2,0–8,0	1,0–7,0	0,2–0,5

Однак використання осадів стічних вод в якості добрива обмежується низкою *обставин*[15]:

1. Економічно доцільно транспортувати і застосовувати тільки осади, висушені до вологості 35-45%, обсяг яких в 2-2,5 рази менше в порівнянні з механічно зневоднених.

2. У більшості міст і населених пунктів в міську каналізаційну мережу надходить значна частка виробничих стоків. Осади, які виділяються в процесах очищення таких міських стічних вод, можуть містити токсичні сполуки, в тому числі солі важких металів. Наприклад, з осадами, які утворюються на Мінській очисній станції аерації, щорічно вивозяться десятки кілограмів цинку і міді, сотні кілограмів кадмію, тисячі кілограмів свинцю і нікелю.

3. Високий вміст мікроелементів (В, Мп, Мо, Со і ін.) Також справляє негативний вплив на ріст рослин і якість сільськогосподарської продукції.

**Застосування осадів в якості кормових добавок.** Активний мул містить білки, жири, вітаміни, амінокислоти та інші цінні компоненти. Після згущення і сушіння в сприятливих умовах з нього можна отримати продукт, по живильній цінності близький до кормових дріжджів. Дослідження по використанню активного мулу в якості кормових білково-вітамінних добавок проводяться в багатьох країнах. Однак для практичної реалізації цих розробок потрібне проведення великих фізіологічних, токсикологічних та інших досліджень на сільськогосподарських тварин.

**Піроліз осадів.** Це найбільш розроблений процес промислової переробки осадів стічних вод. Високотемпературного нагрівання без доступу кисню осади можуть піддаватися окремо або разом з твердими побутовими відходами.

В результаті піролізу осадів утворюється пірокарбон (напівкокс), що представляє собою чорну масу, легко розсипається в порошок. Пірокарбон можна використовувати в якості палива або для отримання азоту і фосфору. Кількість газоподібних продуктів, що виділяються в процесі піролізу опадів, становить 9,0-11,5% від маси сухої речовини. В виділяються газах містяться ненасичені вуглеводні, сірководень, окис вуглецю, водень, метан, етан, азот. Теплота згоряння газів становить близько 4000 кДж / м<sup>3</sup>[15].

Перевагами піролізу осадів у порівнянні зі спалюванням є:

- менший викид золи та інших забруднень в атмосферу;

- можливість проведення процесу без застосування додаткового джерела палива (якщо вміст сухої речовини в осаді перевищує 25%).

До недоліків піролізної переробки слід віднести вогнестійкість установок і наявність кислото утворюючих компонентів в відведених газах, що вимагає використання обладнання з високу корозійну стійкість.

**Депонування осадів стічних вод.** Поховання осадів стічних вод слід застосовувати тільки в разі неможливості утилізації з технічних або економічних причин. При цьому повинні бути вжиті заходи щодо запобігання можливих негативних впливів на навколишнє середовище. Не придатні для поховання осади, що містять патогенні мікроорганізми, високотоксичні з'єднання, що виділяють небезпечні гази і т. п. Економічно недоцільно направляти на поховання осади, вміст сухої речовини в яких менше 15%.

### 1.5 Формування твердого біопалива з використанням надлишкового активного мулу

Одним з найбільш економічно вигідних способів утилізації надлишкового активного мулу є перетворення його в тверде біопаливо.

Після стадії зневоднення, надлишковий активний мул змішують з горючим наповнювачем. У якості такого наповнювача може слугувати: тирса, макуха, сухе листя, солома, макулатура і відходи виробництва паперу та багато інших.

Для використання суміші зневодненого надлишкового активного мулу у якості твердого біопалива, потрібно провести три додаткові стадії обробки: формування суміші, сушіння суміші та формування твердого біопалива. На стадії формування, суміш підготовлюється для сушіння, зазвичай її розкатують з тонкий лист, задля збільшення площі масообміну під час сушіння. На стадії сушіння, суміш набуває певного коефіцієнта вологості для наступної стадії,

якщо це брикетування, то вологовміст має бути 10-15%, а якщо гранулювання, то вологовміст суміші має становити до 5%.

За дослідженнями теплотворна здатність активного мулу в перерахунку на абсолютно суху речовину близька до теплотворної здатності бурого вугілля і торфу. У поєднанні з горючим наповнювачем надлишковий активний мул буде слугувати якісним твердим біопаливом, що створить конкуренцію торфу або бурому вугіллю.

### 1.6 Обладнання для сушіння надлишкового активного мулу

Для сушіння осадів стічних вод застосовують сушарки, що розраховані для сушіння порошкоподібних речовин, з високим вмістом води, від 70% і більше. Зазвичай використовуються конвективні сушарки, а саме:

1. Барабанні сушарки
2. Лопатеві сушарки
3. Сушарки киплячого шару
4. Стрічкові сушарки

*Барабанні сушарки* працюють за схемою з прямоточним рухом осаду сушильного агента, в якості якого використовують топкові гази. Сушильний агрегат складається з топки, сушильної камери і вентиляційного пристрою. З боку входу знаходиться завантажувальна камера, з боку виходу розвантажувальна камера. Топка розташована з боку входу в сушильну камеру. Для відсмоктування відпрацьованих газів встановлюють вентилятор. Барабан встановлений похило до горизонту з кутом 3-4 градуси, він розташований на ковзанках і має привід, від якого здійснюється обертання (Рисунок 1.4). Температура топкових газів на вході в сушку 600-800 °С, на виході з неї - 170-250 °С[18].





Рисунок 1.4- Барабанна сушарка виробника Andritz, для сушіння осадів стічних вод

*Лопатева сушарка* дозволяє здійснювати такі процеси, як сушіння, охолодження, кристалізація, стилізація і багато іншого.

Лопатеві сушарки мають закриту конструкцію і призначені для неперервного сушіння. Завдяки цьому можливе сушіння отруйних речовин і речовин, що мають неприємний запах. Нагрівання вала з лопатями і корпусу може здійснюватися за допомогою насиченої пари або ж діатермічним маслом. Даний концепт сушки з лопатями, що повільно обертаються, практично не виробляє пилу. Випари відводяться через отвір в кришці сушарки і направляються в газовий фільтр для редукування викидів газу в атмосферу. Обертання лопатей відбувається в протилежному напрямку. В кінці лопатей відбувається в протилежному напрямку. В кінці лопаті сушарки мають спеціальну пластинку, що служить для очищення дна установки і для поліпшеного перемішування продукту.

Основними елементами лопаткової сушильної установки є жорсткий корпус, що обігрівается, з двома обертовими в протилежному напрямку порожніми валами зі спеціальними клиновидними лопатями (Рисунок 1.5). Порожні вали з лопатями не мають транспортної функції, а слугують для перемішування і більш інтенсивного теплообміну. За рахунок повільного обертання валів установки, значно скорочує навантаження на силові установки і зменшує ступінь зносу вузлів сушарки. Іншою відмінною рисою лопатевих

сушарок є досягнення високого коефіцієнта випаровування вологи з осаду при мінімальних енергетичних витратах. У лопатевої сушарці сушку осаду можна здійснити до 10% залишкової вологості без зворотного підмішування сухого осаду. Тривале перебування осаду в установці під високою температурою близько 100 °С дозволяє повністю знезаражувати осад. Особливою проблемою при сушінні мулових осадів є виникнення клейкою фази при досягненні 45-60% вмісту завислих речовин. У лопатевих сушарках за рахунок клиноподібної форми лопатей виникає ефект самоочищення, що запобігає налипанню продукту в установці. Дана конструкція дозволяє переробляти різні види осадів в незалежності від виникнення клейкою фази. Процес кондуктивного сушіння абсолютно безпечний, завдяки тому, що випаровування складаються виключно з пара і неконденсованих газів. Можливість виникнення вибуху зведена до нуля[18].

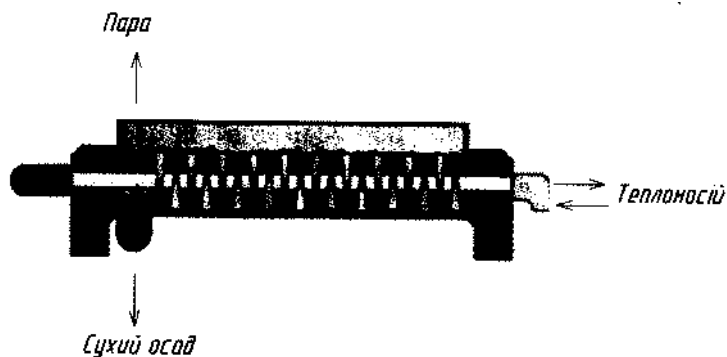


Рисунок 1.5- Схема лопатевої сушарки

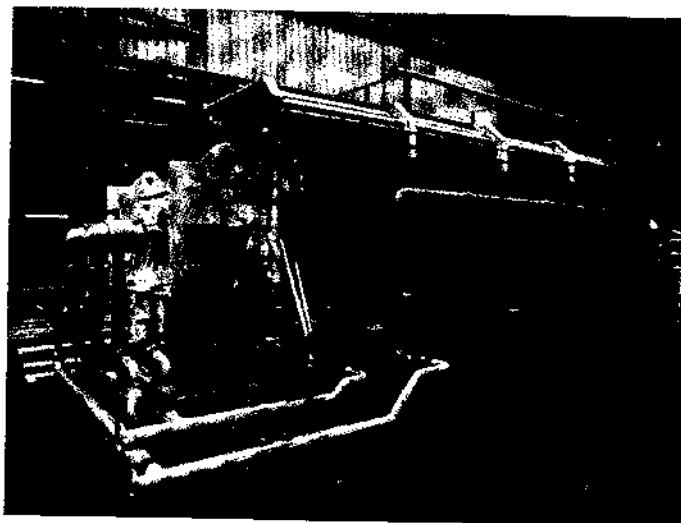


Рисунок 1.6 - Лопатева сушарка виробника Anritz, для сушіння осадів стічних вод

*Сушарка киплячого шару* дозволяє сушити будь-які мілкодисперсні речовини, в тому числі і осади стічних вод. Відомі виробники сушарок киплячого шару, такі як: Anritz, Binder+co , деякі моделі їхніх сушарок призначені для сушіння осадів стічних вод(Рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 - Сушарка киплячого шару виробника Anritz, для сушіння осадів стічних вод

Вологий осад завантажується через отвір, зверху сушарки, на спеціальну розподільчу решітку, яка не дозволяє осаду прийти крізь неї. Під решітку, знизу сушарки, подається теплоносії, який підіймає осад у повітря і створює шар осаду, що знаходиться у стані невагомості. Відпрацьований теплоносії виходить через штуцер у горі апарату, а сухий осад, за допомогою пневмотранспорту виходить з сушарки(Рисунок 1.7).

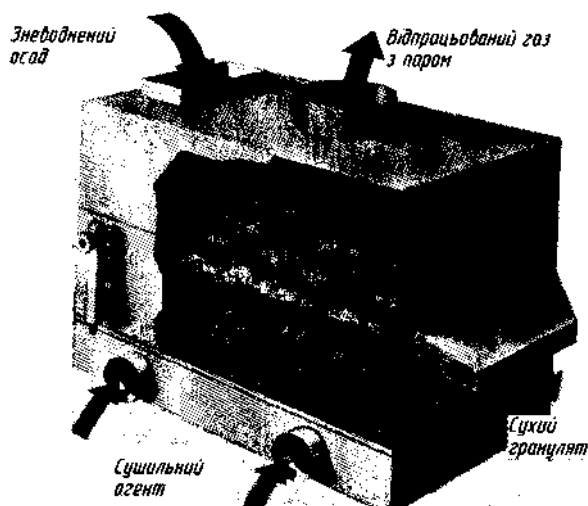


Рисунок 1.7 - Схема роботи сушарки киплячого шару

У *стрічкових сушарках* зневоднений осад завантажується у вигляді пелетів, що формуються на екструдері після зневоднення. Пелети рухаються по стрічці і заходять у сушильну шафу, де відбувається процес сушіння. Сушильний агент, що має високу швидкість(понад 20 м/с) і температуру(понад 150 °С) подається зверху або збоку стрічкової сушарки і забирається збоку або знизу сушарки, в залежності від конструкції(Рисунок 1.8)[18].

Конструкція стрічкової сушарки є універсальною. Її можна використовувати для сушіння будь-яких речовин з будь-якою дисперсністю. Сьогодні на ринку існує багато виробників стрічкових сушарок, так як вони зарекомендували себе, як найбільш універсальні та надійні пристрої для сушіння. Відомі такі виробники, як: Andritz, Bindert+co, AeroDry, Stela, Evolum, Реггу та багато інших(Рисунок 1.9).

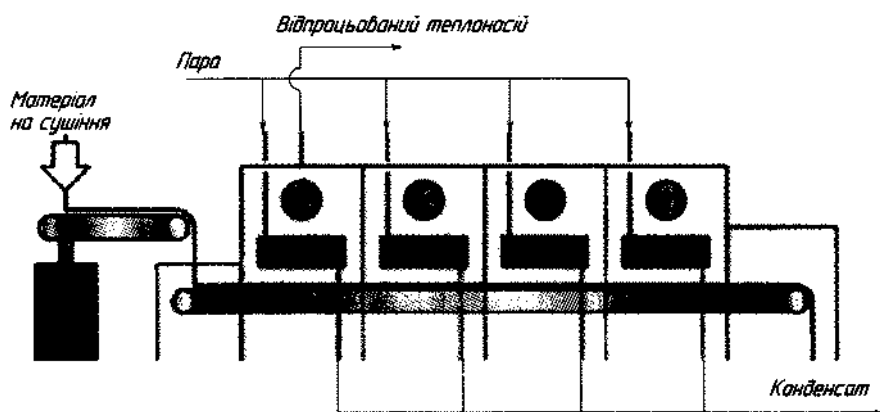


Рисунок 1.8 – Схема роботи стрічкової сушарки

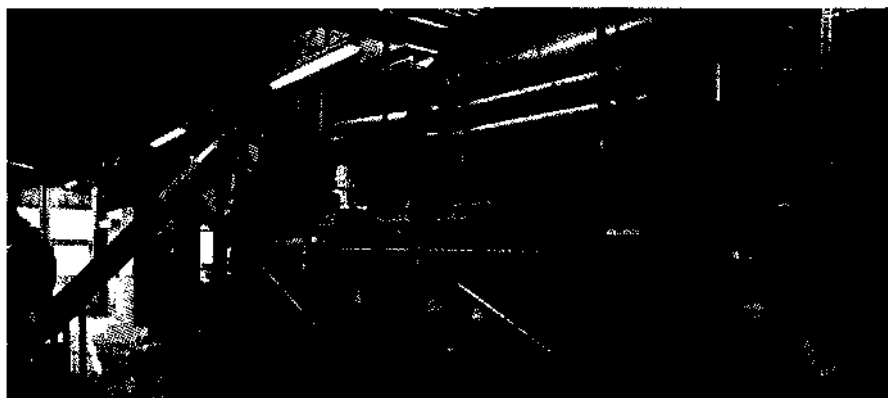


Рисунок 1.9 – Стрічкова сушарка виробника Andritz, для сушіння осадів стічних вод

## Висновки

Підсумовуючи огляд літератури, утилізація надлишкового активного мулу, методом спалювання широко використовується у країнах Європи, насамперед у Нордичних країнах, таких як Норвегія, Швеція, Фінляндія. Після згорання активний мул залишає золу, в якій міститься велика кількість важких металів. Один з найкращих способів утилізації золи - використання її для виробництва будівельних матеріалів.

Ідея формування твердого біопалива з надлишкового активного мулу являється перспективною і актуальною, аналізуючи проблему його утилізації.

Розроблення обладнання, для сушіння надлишкового активного мулу гальмується відсутністю інформації, необхідної для проектування сушильного обладнання, зокрема для визначення температурних режимів роботи, зміни вологовмісту матеріалу у процесі сушіння, тривалістю процесів сушіння, в залежності від форми і розмірів матеріалу, що надходить на сушіння.

Задачі досліджень:

1. Проаналізувати особливості процесу сушіння надлишкового активного мулу.
2. Розробити математичну модель процесу сушіння.
3. На основі реалізації математичної моделі, визначити розподіл температур і вологовмісту в матеріалі.
4. Розробити конструкцію пристрою для неперервного формування твердого біопалива.
5. Розробити 3D модель пристрою для неперервного формування твердого біопалива.
6. Виконати розрахунок на міцність елементів конструкції пристрою.
7. Розробити стартап-проект виробництва твердого біопалива з надлишкового активного мулу.

## 2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ

### 2.1 Аналіз особливостей процесу сушіння надлишкового активного мулу

Надлишковий мул, що утворюється у процесі очищення стічної води після зневоднення на фільтрах та змішування з наповнювачем(далі — активний мул), формується валом гарячого формування та подається у зону сушіння. Для сушіння можна використовувати різні конструкції сушарок. Для визначення розмірів сушарки, що забезпечать необхідну продуктивність і залежності від властивостей активного мулу і умов сушіння, розроблена методика розрахунку на основі розв’язання математичної моделі процесу сушіння.

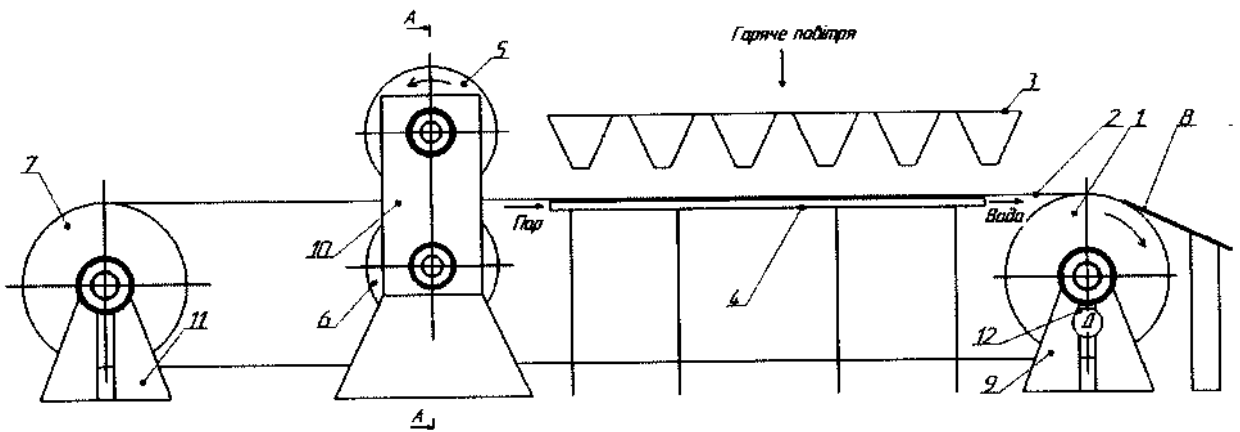


Рисунок 2.1 - Схематичне зображення пристрою неперервного формування твердого біопалива

На неперервну стрічку 2, що знаходиться над веденим валком 7 подається муловий композит, який проходить крізь формуючі нижній та верхній валки 5,6, в результаті чого утворюється шар композиту у вигляді листа, товщиною 15 мм. Після формування, композит проходить зону інтенсивного сушіння, в якій неперервна металева стрічка 2 нагрівається паровим нагрівачем 4 та продувається гарячим повітрям, що надходить з камер 3. Після проходженню

зони інтенсивного сушіння сухий муловий композит розрізається на смуги за допомогою ножа 8.

Математична модель процесу сушіння складається з диференціальних рівнянь тепло і волого переносу, які з урахуванням форми матеріалу, що сушиться доцільно записати в прямокутній системі координат [20]:

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} \right) + a_m \delta_m \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right), \quad (2.1)$$

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + \frac{r_p \varepsilon}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau}, \quad (2.2)$$

де:  $U$  – локальний вологовміст матеріалу,  $t$  – локальна температура матеріалу,  $a_m$  – коефіцієнт волого провідності вологого матеріалу,  $a$  – коефіцієнт температуропровідності вологого матеріалу,  $r_p$  – питома теплота пароутворення,  $c$  – питома теплоємність вологого матеріалу,  $\varepsilon$  – критерій фазового перетворення,  $\delta_m$  – термоградієнтний коефіцієнт.

Розмістимо систему координат, як показано на Рисунок 2.2. Початок координат розміщуємо на поверхні стрічки транспортеру.

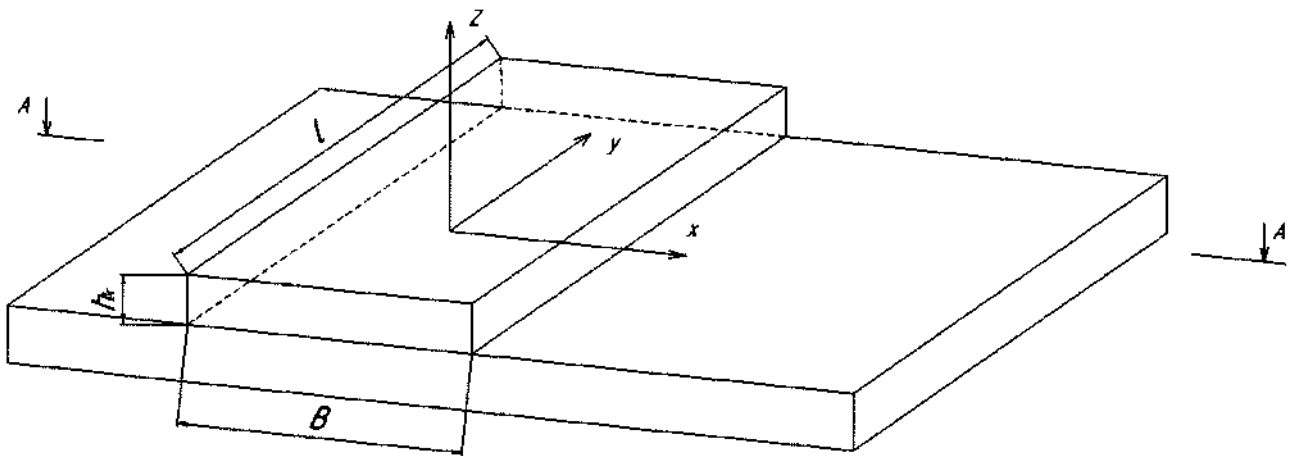


Рисунок 2.2 - Схема розміщення активного мулу на поверхні стрічки транспортеру



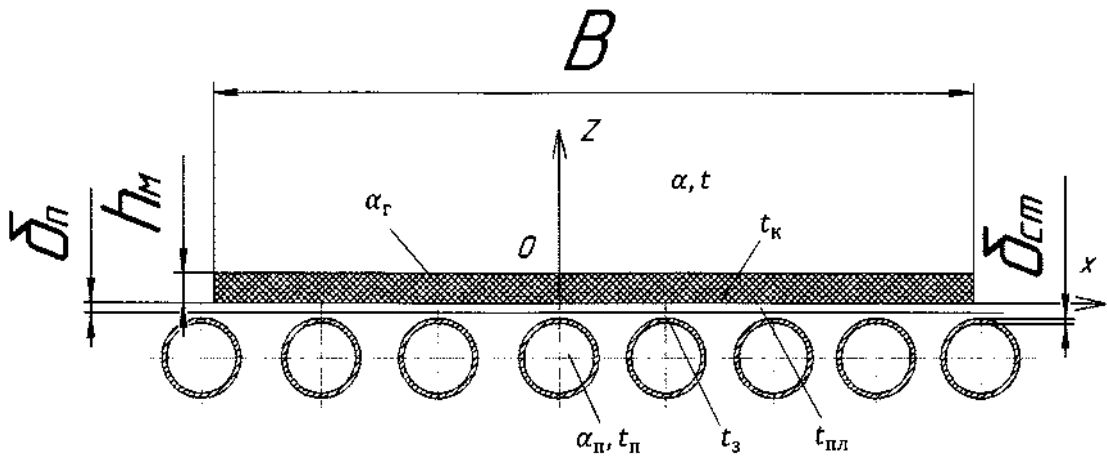


Рисунок 2.3 - Розрахункова схема

Тоді розподілення температур і вологовмісту в шарі активного мулу визначається за рівняннями:

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \varepsilon \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} = a_m \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + a_m \cdot \delta_m \cdot \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} \end{cases} \quad (2.3)$$

До цих рівнянь необхідно додати початкові та граничні умови:

$$\tau = 0; t = t_n; U = U_n \quad (2.4)$$

$$x = 0; t = t_6; U_m = 0 \quad (2.5)$$

$$x = h_m; q = -\lambda \cdot \frac{\partial t}{\partial x}; q_m = \beta_r \cdot (U - U_{гр}) \quad (2.6)$$

Розв'язання математичної моделі, що складається з рівнянь (2.3) - (2.6) дозволяє визначити час, протягом якого вологовміст у шарі активного мулу досягне заданого значення, що, в свою чергу, дозволить розрахувати розміри сушарки.

Підведення теплової енергії до активного мулу здійснюється через стрічку транспортеру. Теплова енергія повітря підводиться за рахунок конвекції та відводиться з вологою, що випаровується. Загальна густина теплового потоку з

вільної поверхні рідини, для першого періоду сушіння, визначається за формулою:

$$q = a_r \cdot (t_p - t_r) + r \cdot \beta_r \cdot (\rho_{пр} - \rho_n), \quad (2.7)$$

де:  $a_r$  — коефіцієнт тепловіддачі з вільної поверхні активного мулу, Вт/м<sup>2</sup>К;  
 $\beta_r$  — коефіцієнт масовіддачі, м/с;  $r$  — питома теплота пароутворення, Дж/кг;  
 $t_p$  — температура вільної поверхні активного мулу, °С;  $\rho_{пр}$  та  $\rho_n$  — густина пара, що відповідає температурі насичення та густина пара в газовому середовищі відповідно, кг/м<sup>3</sup>.

Коефіцієнт тепловіддачі  $a_r$  з достатньою для інженерних розрахунків точності визначається за формулами для конвекції від твердої поверхні.

Коефіцієнт масовіддачі знаходиться за формулою:

$$\beta_r = \frac{a_r}{c_p \cdot \rho_n}. \quad (2.8)$$

Для другого періоду сушіння загальна густина теплового потоку визначається за формулою:

$$q_t = a \cdot (t - t_c) + q_m \cdot i_p, \quad (2.9)$$

де:  $a$  — коефіцієнт тепловіддачі від сушильного агенту до плівки активного мулу,  $i_p$  — ентальпія пари,  $t_c$  — температура сушильного агенту.

На зовнішній поверхні плівки активного мулу волога відводиться в сушильний агент.

Щільність потоку вологи виражається рівнянням:

$$q_T = \beta_r (c_p - c), \quad (2.10)$$

де:  $\beta_r$  — коефіцієнт масовіддачі на поверхні активного мулу,  
 $c$  — концентрація пари в сушильному агенті,  $c_p$  — концентрація пари біля поверхні плівки активного мулу.

Тепловий потік, що передається від зовнішньої поверхні змійовика знаходиться з рівняння:

$$Q_T = K_{пл}(t_3 - t_{пл}), \quad (2.11)$$

де:  $K_{пл}$  —приведений коефіцієнт тепло переносу для змійовика, Вт/К.

Цей коефіцієнт  $K_{пл}$  знаходиться з виразу:

$$Q = K_T(t_n - t_3); \quad (2.12)$$

$$Q = K_k(t_3 - t_{пл}); \quad (2.13)$$

Де:  $K_k = \frac{\lambda_k}{\delta_k} F_{пл}$  —приведений коефіцієнт тепло переносу для стрічки, Вт/К;

$K_T = a_T \cdot F_T$  —приведений коефіцієнт тепло переносу для теплоносія, Вт/К;  $F_T = \pi \cdot r^2 \cdot z_T$  —бокова поверхня змійовика,  $z_T$  —число витків змійовика.

Запишемо рівняння для визначення теплового потоку від теплоносія до верхньої поверхні стрічки:

$$Q_T = K_{пр}(t_k - t_n), \quad (2.14)$$

$$\text{де: } K_{пр} = \frac{1}{\frac{1}{K_k} + \frac{1}{K_T} + \frac{1}{K_{пл}}}.$$

З цього рівняння знаходимо температуру на верхній поверхні стрічки:

$$t_k = t_n - \frac{Q_T}{K_{пр}}. \quad (2.15)$$

## 2.2 Реалізація математичної моделі

Реалізація математичної моделі здійснена за допомогою мови програмування Java за наступними вихідними даними:

$$t_n = 120 \text{ } ^\circ\text{C}; t_k = 100 \text{ } ^\circ\text{C}; t_3 = 118 \text{ } ^\circ\text{C}; \alpha = 10 \frac{\text{Вт}}{\text{К}};$$

$$\lambda = 0,1 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}};$$

У результаті отримаємо градієнт температур по товщині матеріалу, що сушиться:

$t[0] = 100,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t[1] = 100,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$t[2] = 100,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t[3] = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$t[4] = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t[5] = 99 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$t[6] = 98,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t[7] = 99 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$t[8] = 99,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t[9] = 99,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$
$t[10] = 99,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$	

$t[0]$  — точка на поверхні шару надлишкового активного мулу, що сушиться;  $t[10]$  — точка дотику надлишкового активного мулу до стрічки конвейєра.

Використовуючи отримані дані побудуємо графік(Рисунок 2.4) температури матеріалу, що сушиться в шарі  $n$ , де  $n$  - порядковий номер шару, починаючи від поверхні матеріалу 0 і закінчуючи точкою дотику з стрічкою конвейєра.

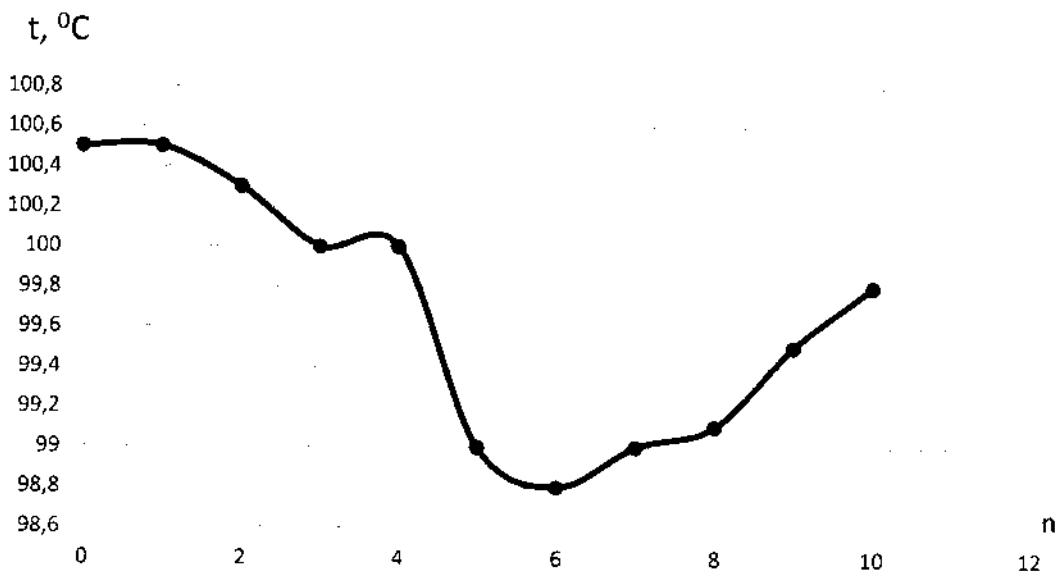


Рисунок 2.4 - Графік градієнта температур в матеріалі, що сушиться

Програма обрахунку градієнта температур зображена на рисунку 2.5.

```

        if (B1 > A3){
            B2 = A3;
        }else {
            B2 =B1;
        }
double[] U = new double[Ni];
double[] V = new double[Ni];
double[] S = new double[Ni];
double[] T = new double[Ni];    double sigma = B2;

double m = 0;
double C4 = 1;
double tau = 0;
double deltaX = bm/N;

double deltaTau =sigma*Math.sqrt(deltaX);
tau += deltaTau;

double L1 = W1*tau;

for (int i = 0;i < Ni;i++){
    V[i] = Un;
    S[i] = tn;
}

double A1 =1/(4*am);
double A2 =1/(4*a);
double A3 =1/(4*am*b);
double B1 = 0;
double B2 = 0;

    for (int i = 1;i < N; i++){
        U[i] = V[i]
            +(deltaTau*am)/Math.sqrt(deltaX)
            *(V[i+1]-2*V[i]+V[i-1])
            +(am*b*deltaTau)/Math.sqrt(deltaX)
            *(S[i+1]-2*S[i]+S[i-1]);

        T[i] = S[i]
            +(deltaTau*a)/Math.sqrt(deltaX)
            *(S[i+1]-2*S[i]+S[i-1])
            +((r*E)/c)
            *(U[i]-V[i]);
    }

T[N] = (alfa*tc*deltaX + T[N-1]*lambda)/(alfa*deltaX + lambda);

double ss = 0;

for (int i = 0;i < Ni;i++) {
    S[i] = T[i];
    V[i] = U[i];
    ss += V[i];
}

if (L1 < Lk){
    System.out.println(L1 + " < " + Lk);
}else {
    for (int i = 0;i<Ni;i++){
        System.out.println("T["+i+"] = " + "["+ T[i] + "]" "+"U["+i+"] = " + "["+ U[i] + "]\n")
    }
}

```

Рисунок 2.5 - Програма(на мові Java) обрахунку градієнта температур від змійовика до стрічки транспортеру

## Висновки

Проаналізовано особливості процесу сушіння надлишкового активного мулу. Як результат, розроблена математична модель процесу сушіння надлишкового активного мулу.

Реалізована математична модель за допомогою мови програмування Java.

На основі реалізації математичної моделі, визначений розподіл температур і вологовмісту у матеріалі, який представлений на рисунку 2.4. Висота листа матеріалу, що надходить на сушіння була прийнята рівною 5 мм, так як за такої висоти, розподіл температур і вологовмісту у матеріалі є найбільш оптимальним.

### 3 КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

#### 3.1 3D моделювання

На рисунку 3.1 зображено 3D модель пристрою неперервної дії для формування твердого біопалива з надлишкового активного мулу.

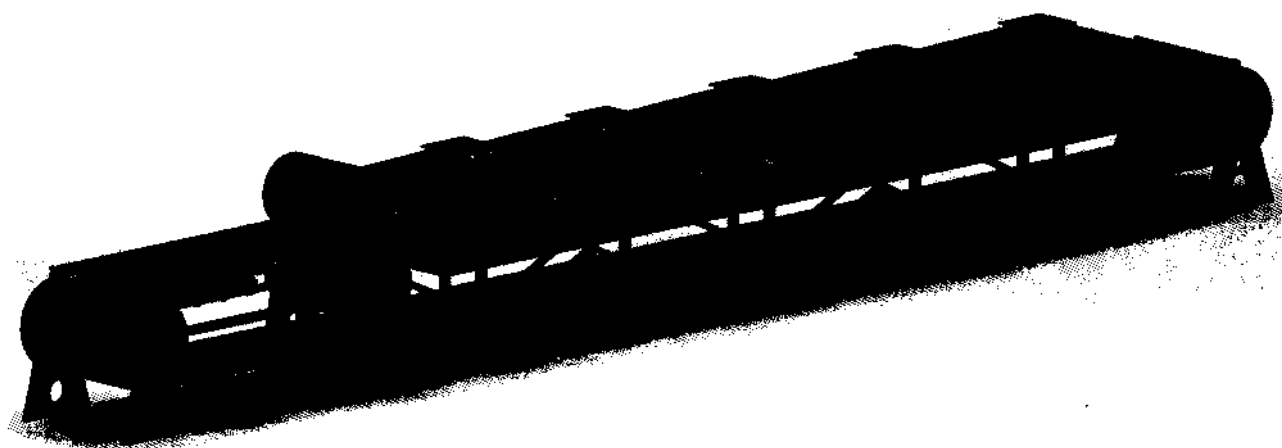


Рисунок 3.1 – 3D модель пристрою неперервної дії для формування твердого біопалива з використанням надлишкового активного мулу

Побудова 3D моделі виконана у програмному забезпеченні SolidWorks.

#### 3.2 Розрахунок на міцність елементів конструкції пристрою

Метою розрахунку на міцність елементів конструкції пристрою неперервної дії, для формування твердого біопалива є впевнення, що елементи даного апарату витримують навантаження, які будуть виникати під дією тиску насиченої пари та під дією маси матеріалу, що сушиться.

Вихідні дані:

Густина матеріалу що сушиться -  $\rho_m = 1384 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Довжина ділянки ввід валів формування до ведучого вала -  $L = 12 \text{ м}$ .

Ширина стрічки конвеєра -  $b = 1,8$  м.

Висота матеріалу, що сушиться -  $h = 0,005$  м.

Тиск у валку гарячого формування -  $p_v = 0,25$  МПа.

Тиск у змійовику -  $p_z = 0,25$  МПа.



Табл. 3.1 - Властивості матеріалу апарату (Сталь 16ГС).

Властивість	Значення
Модуль пружності	$2 \cdot 10^5$ МПа
Коефіцієнт Пуассона	0,28
Модуль зсуву	$7,7 \cdot 10^4$ МПа
Вагова густина	$7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Межа міцності на розтяг	620 МПа
Межа текучості	182 МПа

Табл. 3.2 - Властивості матеріалу стрічки(Сталь DIN AISI 1.4310(X10CrNi18-8)).

Властивість	Значення
Модуль пружності	$2 \cdot 10^5$ МПа
Коефіцієнт Пуассона	0,28
Модуль зсуву	$7,9 \cdot 10^4$ МПа
Вагова густина	$7900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
Межа міцності на розтяг	500 МПа
Межа текучості	195 МПа

Для розрахунку пристрою неперервної дії, для формування твердого біопалива на міцність у даній магістерській дисертації використовується програмне забезпечення “SolidWorks”. У програмному забезпеченні даний пристрій розділений на частини. З конструктивної точки зору обрані місця виникнення найбільших напружень у матеріалі та виконаний розрахунок навантаження цих місць. 3D моделі, для розрахунків на міцність виконуються у масштабі 1:1.

### 3.2.1 Розрахунок на міцність вала гарячого формування

Для розрахунку вала гарячого формування, на міцність, потрібно:

- 1) Побудувати 3D модель вала гарячого формування у програмному забезпеченні “SolidWorks” (Рисунок 3.2).
- 2) Задати матеріал, з якого виготовлений вал. Такий матеріал Сталь 16ГС, його характеристики знаходяться у таблиці 3.1.
- 3) Зафіксувати поверхні входу пару у вал та виходу з нього.
- 4) Навантажити вал внутрішнім тиском, який становить 0,25 МПа.



Рисунок 3.2 - 3D модель вала гарячого формування У результаті обрахунку отримаємо два градієнти розподілені по матеріалу вала: напружень(Рисунок 3.3) та переміщень(Рисунок 3.4). Обрахунок відбувається для диференційованих елементіввала, за рахунок розбиття конструкції вала на елементарні площини.

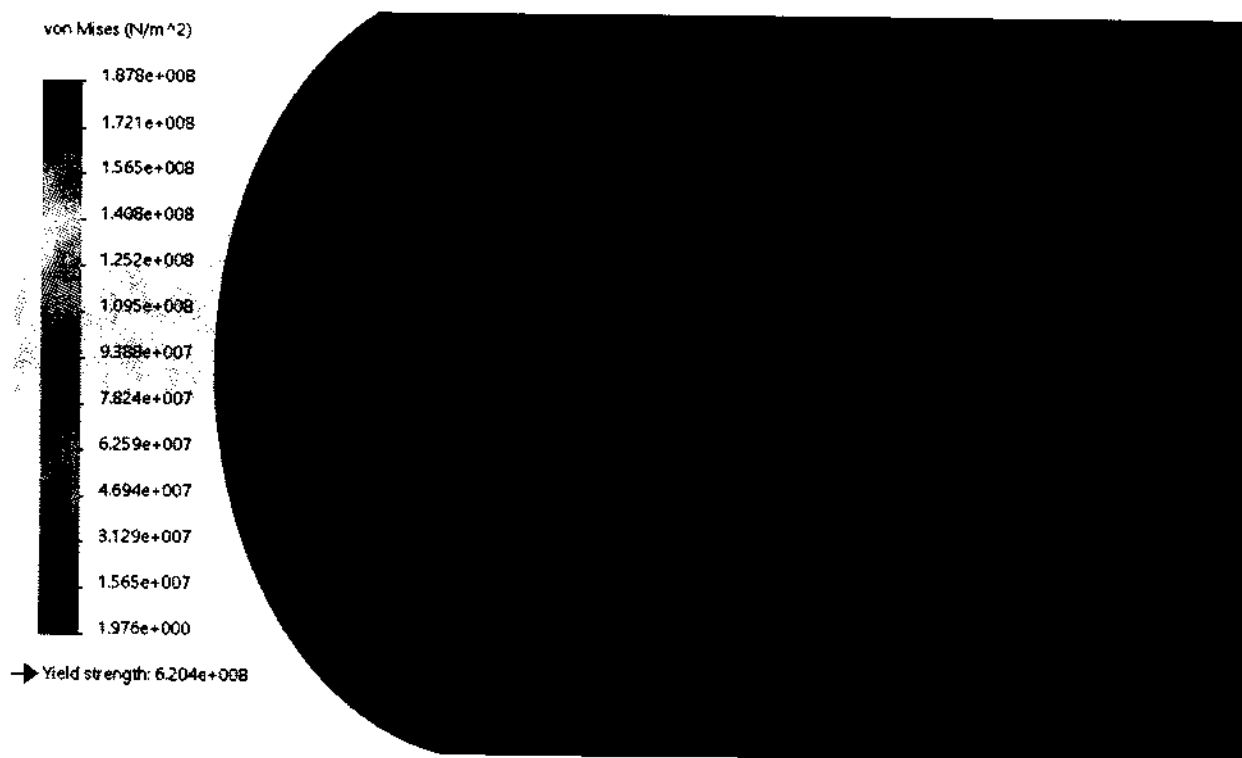


Рисунок 3.3 - Градієнт напружень, що виникають у матеріалі вала гарячого формування

Аналізуючи рисунок 3.3, найвищі напруження, що виникають у матеріалі вала гарячого формування виникають у місцях подачі пара та на торцях валу гарячого формування. Але напруження не перевищують допустиме значення. Границя напружень вказана на рисунку 3.3, навпроти червоної стрілки і становить 620 МПа. Напруження що виникають у матеріалі вказані на рисунку 3.4, ліворуч в Паскалях.



Рисунок 3.4 - Градієнт переміщень, що виникають у матеріалі вала гарячого формування

Аналізуючи рисунок 3.4, найбільші переміщення, що виникають у матеріала вала гарячого формування виникають на його торцях, в місцях, де стінка має найменшу товщину. Але найбільші переміщення становлять  $5.6 \cdot 10^{-8}$  мм, що є допустимим для даної конструкції.

### 3.2.2 Розрахунок на міцність змійовика

Для розрахунку змійовика, на міцність, потрібно:

- 1) Побудувати 3D модель змійовика у програмному забезпеченні “SolidWorks”.
- 2) Задати матеріал, з якого виготовлений змійовик. Такий матеріал Сталь 16ГС, його характеристики знаходяться у таблиці 3.1.
- 3) Зафіксувати поверхні входу пару у змійовик та виходу з нього.
- 4) Навантажити змійовик внутрішнім тиском, який становить 0,25 МПа.

У результаті обрахунку отримаємо два градієнти розподілені по матеріалу змійовика: напружень(Рисунок 3.6) та переміщень(Рисунок 3.7). Обрахунок відбувається для деференційованих елементіввала, за рахунок розбиття конструкції змійовика на елементарні площини.

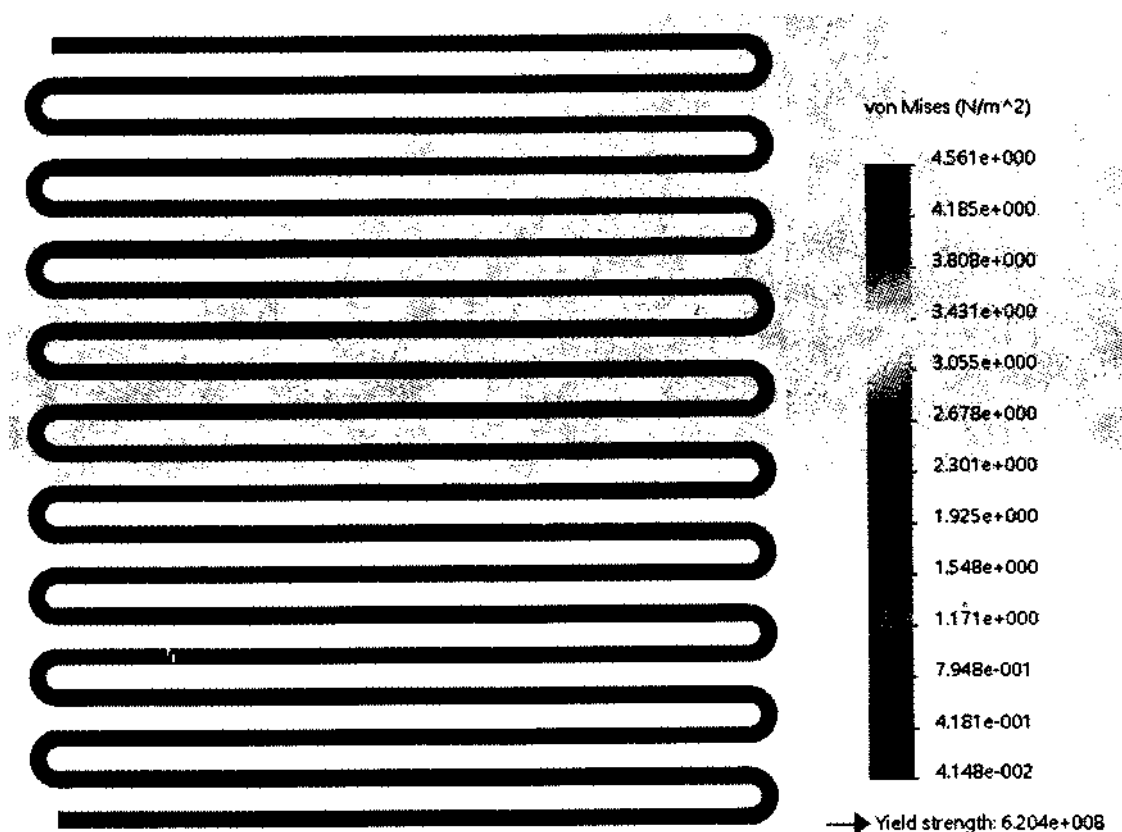


Рисунок 3.5 - Градієнт напружень, що виникають у матеріалі змійовика

Аналізуючи рисунок 3.5, напруження, що виникають у матеріалі змійовика не перевищують допустиме значення. Ліворуч, на рисунку 3.5 вказано напруження, що виникають у матеріалі в Паскалях та поруч з червоною стрілкою знаходиться допустиме значення напружень, яке становить 620 МПа.

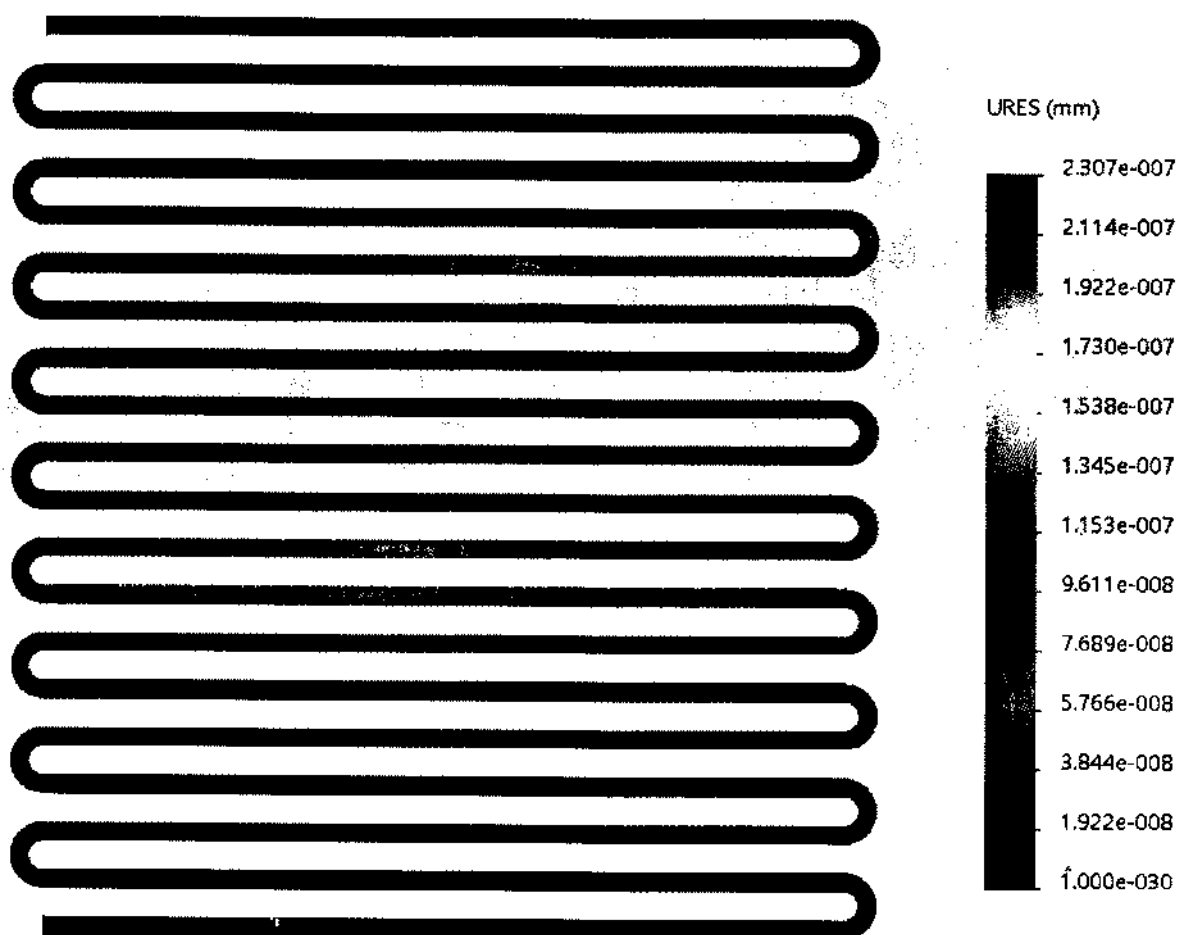


Рисунок 3.6 - Градієнт переміщень, що виникають у матеріалі змійовика

Аналізуючи рисунок 3.6, найбільші переміщення, що виникають у матеріалі змійовика виникають в центральній його частині і становлять  $2.3 \cdot 10^{-7}$  мм, що являється допустимим.

### 3.2.3 Розрахунок на міцність стрічки

Для розрахунку стрічки, на міцність, потрібно:

- 5) Побудувати 3D модель стрічки у програмному забезпеченні “SolidWorks”.
- 6) Задати матеріал, з якого виготовлена стрічка. Такий матеріал Сталь DIN AISI 1.4310(X10CrNi18-8), його характеристики знаходяться у таблиці 3.2.
- 7) Зафіксувати поверхні на кінцях стрічки.

- 8) Навантажити стрічку розподіленою вагою матеріала, який буде знаходитися на ній.

Визначимо масу матеріалу, що знаходиться на стрічці у зоні сушіння:

$$m = \rho_m \cdot L \cdot h \cdot b = 1384 \cdot 12 \cdot 0,005 \cdot 1,8 = 150 \text{ кг.} \quad (35)$$

У результаті обрахунку отримаємо два градієнти розподілені по матеріалу стрічки: напружень(Рисунок 3.7) та переміщень(Рисунок 3.8). Обрахунок відбувається для диференційованих елементіввала, за рахунок розбиття конструкції стрічки на елементарні площини.



Рисунок 3.7 - Градієнт напружень, що виникають у матеріалі стрічки

Аналізуючи рисунок 3.7, найбільші напруження, що виникають у матеріалі знаходяться ближче до країв ділянки стрічки. Найбільші напруження, що виникають становлять 18,7 МПа, в той час, коли допустиме значення становить 500 МПа.



Рисунок 3.8 - Градієнт переміщень, що виникають у матеріалі стрічки

Аналізуючи рисунок 3.8, найбільші переміщення, що виникають у матеріалі стрічки становлять 2,5 мм, використовуючи це значення, розмістимо змійовик на відстані 5 мм від поверхні стрічки.



## Висновки

Розроблено 3Д модель пристрою неперервного формування твердого біопалива у програмному забезпеченні SolidWorks, яка представлена на рисунку 3.1.

Виконано розрахунок на міцність елементів конструкції пристрою, таких як: вал гарячого формування, змійовик та стрічка. Кожен з елементів конструкції витримує навантаження, що будуть виникати під час експлуатації пристрою.

## 4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБЛЕНОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ ДЛЯ НЕПЕРЕВНОГО ФОРМУВАННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА

### 4.1 Опис технологічної схеми формування твердого біопалива з надлишкового

активного мулу

Після анаеробного очищення стічної води утворений надлишковий активний мул, зазвичай, змішується з усіма іншими осадами, що утворюються на попередніх стадіях очищення стічної води і надходять на мулові поля, для зберігання.

Натомість, замість зберігання, на запропонованій схемі виготовлення твердого палива, надлишковий активний мул за допомогою насоса Н-1 перекачується у шнековий дегідратор ШД-2, який відділяє *мулову воду* від твердого осаду(кеку).

Мулова вода по трубопроводу Т29 перекачується за допомогою насоса Н- 3, на повторне очищення, до аеробного біореактору чи інших очисних споруд, в залежності від схеми очищення стічних вод.

Твердий осад з шнекового дегідратора переміщується до шнекового змішувача ШЗ-5, за допомогою стрічкового конвеєра СК-4. У шнековому змішувач, разом з твердим осадом подається тирса. Тирса запобігає інтенсифікації сушіння, утворенні більших за розміром гранул, а також підвищує теплотворну здатність майбутнього твердого біопалива. Масова частка тирси у результуючому композиті становить 30%. Як показують дослідження, такий відсоток тирси найбільш доцільний[7].

Далі композитна суміш(твердий осад разом з тирсою) за допомогою стрічкового конвеєра СК-6 надходить на пристрій неперервної дії, для формування твердого біопалива з активного мулу ПФБ-7. Рухаючись по стрічці

конвеєра пристрою неперервної дії, для формування твердого біопалива, спочатку композит проходить валок гарячого формування, в який подається пара за допомогою компресора К-8 і відводиться конденсат з протилежної сторони валка. Після валка гарячого формування композит набуває форми листа, товщиною 5 мм. Далі лист композиту потрапляє в зону інтенсивного сушіння. У цій зоні стрічка пристрою обігрівается паром, що циркулює у змійовику під нею компресором К-9, а сам лист композиту обдувається гарячим повітрям. Проходячи зону інтенсивного сушіння композит розрізається ножом на гранули та переміщується на склади зберігання гранул.

Гаряче повітря, що надходить у зону інтенсивного сушіння, надходить з навколишнього середовища, за рахунок повітрозабірника Пз-10. Повітря нагнітається вентилятором В-11 та проходить крізь калорифер Кф-12, де нагрівається за допомогою пара, що постачається компресором К-13. Далі повітря подається у зону інтенсивного сушіння.

Із зони інтенсивного сушіння відпрацьоване повітря забирається компресором К-14 та проходить крізь індивідуальний фільтр Ф-15, після чого відпрацьоване повітря може бути використаним для інших цілей.

#### 4.2 Призначення та область застосування пристрою

Пристрій неперервної дії, для виробництва твердого біопалива з активного мулу являє собою стрічкову сушарку, з додатково встановленими формуючими валками та ножом для утворення гранул біопалива.

Пристрій встановлюється, як одна з основних ланок лінії неперервного формування твердого біопалива з використанням активного мулу.

Застосування стрічкової сушарки представленого типу підійде, для формування гранул з будь-яких речовин, що мають високу вологість(понад 80%). Що говорить про універсальність застосування пристрою.

Представлений пристрій може бути використаний не тільки у сфері виробництва твердого біопалива, а й в : хімічній промисловості, для сушіння порошків, що мають високий рівень вологості; харчовій промисловості, для сушіння пюреподібних речовин; у сфері виготовлення будівельних матеріалів, для сушіння шарів порошкоподібних речовин і т.п.

#### 4.3 Обґрунтування вибору конструкції і вибір матеріалів

Пристрій спроектований для сушіння речовин, що мають високу вологість і структуру порошку або твердого композиту у висушеному стані. Пристрій дуже простий і має невелику кількість збиральних частин, для легкості збирання.

Конструкцію стрічкової сушарки обрано по причині формування кінцевого продукту - гранул або брикетів, в залежності від ножа, що буде встановлений у пристрої.

У якості стрічки була обрана неперервна стрічка з нержавіючої сталі, від компанії Bendorf Band Group. Стрічка призначена для переміщення матеріалів, що мають високу температуру (до 400 °C). Валки що обертають неперервну металеву стрічку мають діаметр 1 м, для розміщення одного з валків формування і обігрівуючого змійовика.

Під стрічкою, у зоні завантаження сировини на стрічкову, сушарки встановлені ролики з амортизуючою системою. Ці ролики запобігають пошкодженню стрічки, під час завантаження сировини на неї. Ролики покриті шаром термостійкої гуми, для запобігання псуванню матеріалу, з якого вони виготовлені.

Верхній формуючий валок обігрівается паром, для гарячого формування тонкого шару матеріалу, що подається на стрічкову сушарку. Також валок вкритий РІ покриттям від компанії "I HOLLAND", що запобігає явищу прилипання матеріалу до валка при температурі 130 °C.

Додатково під стрічку встановлений змійовик, що розташовується на відстані в декілька міліметрів від самої стрічки. Змійовик нагріває стрічку до температури 100 °С, що слугує каталізатором процесу сушіння. Форма змійовика проста і легка у виготовленні.

В опорах стрічкової сушарки зроблені додаткові отвори, що зменшують вагу конструкції і не впливають на її міцність.

4.4 Технічна характеристика

Пристрій призначений для сушіння зневодненого активного мулу або композитів з ним:

1. Швидкість сушіння, с <sup>1</sup>	0,0007
3. Швидкість стрічки, м/с	0,0019
4. Швидкість подачі повітря, м/с	20
5. Витрата пара змійовика, кг/с	0,01
6. Витрата пара валка формування, кг/с	
7. Робочий тиск, МПа	
валок	0,25
змійовик 8. Об'єкт сушіння	0,25 Композит з активного мулу і тирси
9. Теплоносій	
зона сушіння	повітря
змійовик	насичена пара
формуєчий валок	насичена пара
10. Температура, °С	
Об'єкту сушіння	20
повітря на вході в калорифер	20
повітря на виході з калорифера	150

насичена пара на вході в змійовик 1 30

насичена пара на виході зі змійовика 110

насичена пара на вході в формуючий валок 130

насичена пара на виході з формуючого валка 110

#### 11. Габаритні розміри, мм

довжина 14174

ширина 2420

висота 2302

#### 4.5 Розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції пристрою

##### *Вихідні дані:*

Початкова температура сировини:  $t_n = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Початкова вологість сировини:  $\varphi = 75,5\%$ .

Кінцева вологість біопалива:  $\varphi = 10\%$ .

Температура повітря навколишнього середовища для літніх умов:  $t_0 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Температура повітря навколишнього середовища для зимових умов:  $t_0 = -3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Температура повітря на виході з сушарки:  $t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Вологість повітря на вході в сушарку для літніх умов:  $\varphi = 65\%$ .

Вологість повітря на виході із сушарки для зимових умов:  $\varphi = 85\%$ .

Сухий вихід біопалива з сушарки:  $G_{\text{сух}} = 77,25\text{ кг}$ .

Ширина стрічки сушарки:  $b = 1,5\text{ м}$ .

Довжина зони сушіння:  $L_{\text{сух}} = 10\text{ м}$ .

#### 4.5.1 Визначення часу сушіння

На рисунках 4.1 і 4.2 показані діаграми сушіння для літніх та зимових умов, відповідно, що побудовані за даними:  $t_0, ^\circ\text{C}$  — температура повітря навколишнього середовища;  $t_1, ^\circ\text{C}$  — температура повітря після калорифера;  $t_2, ^\circ\text{C}$  — температура повітря на виході з сушарки;  $\varphi$  — вологість повітря з навколишнього середовища.

З діаграми знаходимо: вологовміст повітря з навколишнього середовища,  $x_0, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$  і вологовміст повітря, що виходить з сушарки,  $x_2, \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ .

Так, як нагрівання повітря у калорифері відбувається за сталого вологовмісту, то  $x_0 = x_1$ . Проведемо розрахунки, для характеристик повітря при літніх і зимових умовах, для міста Київ.

*Для літніх умов.*

З рисунку 4.1:

Початковий вологовміст повітря,  $x_0 = 0,01 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ .

Кінцевий вологовміст повітря,  $x_2 = 0,072 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ .

Для початку визначимо середній вологовміст сушильного агента(повітря):

$$\Delta x_{\text{ср}} = x_2 - x_0 = 0,072 - 0,01 = 0,062 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (1)$$



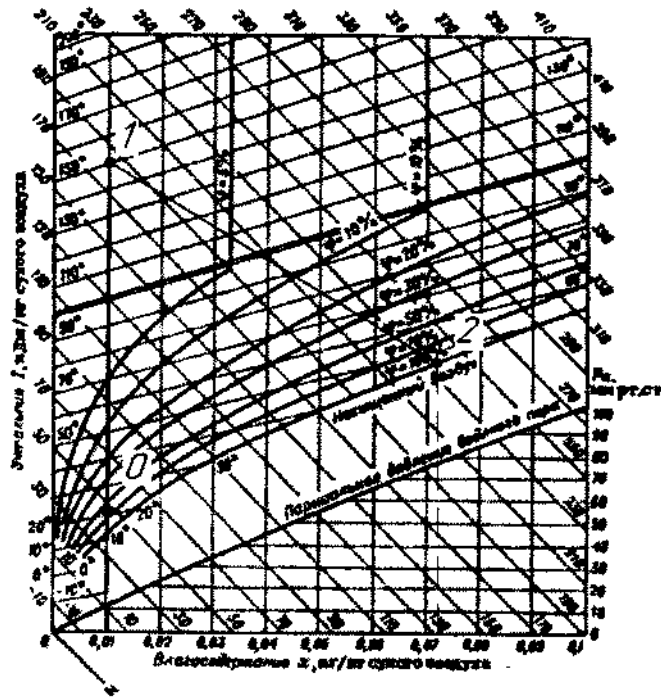


Рисунок 4.1 - Діаграма характеристик повітря при літніх умовах[6]

Визначимо коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі  $\beta$  за наступною рівнянням[23]:

$$Nu_r = A Re_r^n (Pr_r)^{0,33} Gu^{0,135} = 0,347 \cdot (1,06 \cdot 10^6)^{0,65} \cdot 0,68^{0,33} \cdot 0,26^{0,135} = 2101,5 \quad (2)$$

де:

$$Nu_r = \frac{\beta b}{D}, \quad (3)$$

$$Re_r = \frac{\omega b}{\nu} = \frac{20 \cdot 1,5}{28,22 \cdot 10^{-6}} = 1,06 \cdot 10^6; \quad (4)$$

$$Pr_r = \frac{\nu}{D} = \frac{28,22 \cdot 10^{-6}}{0,00004145} = 0,68, \quad (5)$$

$$Gu = \frac{(T_0 - T_m)}{T_0} = \frac{423 - 313}{423} = 0,26, \quad (6)$$

де:  $\nu = 28,22 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$  – кінематична в'язкість повітря при температурі  $t_1$ ;

$T_0 = 423 \text{ К}$ ,  $T_m = 313 \text{ К}$  – температура сухого і мокрого термометра відповідно, для температури повітря[25].

З рівняння критерій Нуссельта, виразимо коефіцієнт масовіддачі в газовій фазі з рівняння (3):

$$\beta = \frac{Nu_r \cdot D}{b} = \frac{2101,5 \cdot 0,00004145}{1,5} = 0,058 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \frac{\text{кг}}{\text{кг}}} \quad (7)$$

де:  $D = \frac{\lambda}{c_p \rho} = \frac{3,51 \cdot 10^{-2}}{1017,36 \cdot 0,83} = 0,00004145 \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$  – коефіцієнт термічної дифузії повітря,  $\lambda = 3,51 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$  – теплопровідність повітря;  $c_p = 1017,36 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$  – питома теплоємність повітря;  $\rho = 0,83 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  – густина повітря, при температурі повітря  $t_1$ .

Визначимо питому поверхню контакту з матеріалом за допомогою наступного рівняння:

$$f = \frac{F}{G_{\text{сух}}} = \frac{15}{77,25} = 0,194 \frac{\text{м}^2}{\text{кг}}, \quad (8)$$

де:  $F = bL_{\text{суш}} = 1,5 \cdot 10 = 15 \text{ м}^2$  – площа сушіння.

Визначимо швидкість сушіння, застосувавши результати з рівнянь (1),(7),(8) за наступним рівнянням:

$$N = \beta f \Delta x_{\text{ср}} = 0,058 \cdot 0,194 \cdot 0,062 = 0,0007 \frac{1}{\text{с}} \quad (9)$$

Час сушіння при постійних умовах складається з двох складових  $\tau_1$  – для періода постійно сушіння і  $\tau_2$  – періода зменшення швидкості. Час сушіння  $\tau$ , може бути розрахований за формулою:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 4029 + 1341 = 5370 \text{ с} = 1,49 \text{ год.} \quad (10)$$

Для визначення  $\tau_1$  використаємо наступну формулу:

$$\tau_1 = \frac{1}{N} (u'_n - u'_{\text{кр}}) = \frac{1}{0,0007} (3,36 - 0,54) = 4029 \text{ с} = 1,12 \text{ год,} \quad (11)$$

де:  $u'_n$  – початковий вологовміст сировини;  $u'_{кр}$  – критичний вологовміст сировини[7].

Для визначення  $\tau_2$  використаємо наступну формулу:

$$\tau_2 = \frac{(u'_{кр} - u'_p)}{N} 2,3lg \frac{(u'_{кр} - u'_p)}{(u'_к - u'_{pp})} = \frac{(0,54 - 0,01)}{0,0007} 2,3lg \frac{(0,54 - 0,01)}{(0,1 - 0,01)} =$$

$$= 1341 \text{ с} = 0,37 \text{ год.} \quad (12)$$

Знаючи час сушіння, та довжину зони сушіння, можна визначити швидкість стрічка, за наступним рівнянням:

$$\omega_{стр} = \frac{L_{суш}}{\tau} = \frac{10}{5370} = 0,0019 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 6,84 \frac{\text{м}}{\text{год}}. \quad (13)$$

*Для зимових*

*умов. З рисунка*

Початковий вологовміст повітря,  $x_0 = 0,005 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ .

Кінцевий вологовміст повітря,  $x_2 = 0,072 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ .

Для початку визначимо середній вологовміст сушильного агенту(повітря).

Для цього використаємо діаграму Рамзіна.

$$\Delta x_{ср} = x_2 - x_0 = 0,072 - 0,005 = 0,067 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

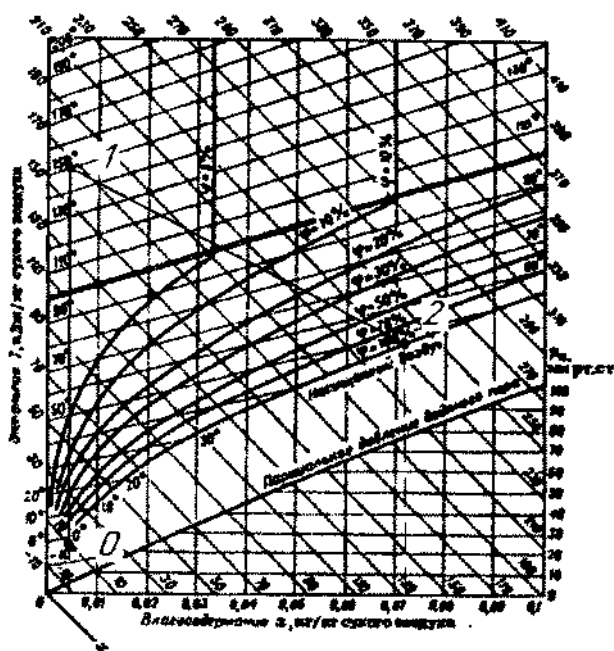


Рисунок 4.2 - Діаграма характеристик повітря при зимових умовах[6]

Визначимо швидкість сушіння, застосувавши результати з рівнянь (1),(7),(8) за наступним рівнянням:

$$N = \beta f \Delta x_{\text{ср}} = 0,058 \cdot 0,194 \cdot 0,067 = 0,00075 \frac{1}{\text{с}}$$

Час сушіння при постійних умовах складається з двох складових  $\tau_1$  – для періода постійно сушіння і  $\tau_2$  – періода зменшення швидкості. Час сушіння  $\tau$ , може бути розрахований за формулою:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 = 3760 + 1252 = 5012 \text{ с} = 1,39 \text{ год.}$$

Для визначення  $\tau_1$  використаємо наступну формулу:

$$\tau_1 = \frac{1}{N} (u'_n - u'_{\text{кр}}) = \frac{1}{0,00075} (3,36 - 0,54) = 3760 \text{ с} = 1,04 \text{ год.}$$

Для визначення  $\tau_2$  використаємо наступну формулу:

$$\begin{aligned} \tau_2 &= \frac{(u'_{\text{кр}} - u'_p)}{N} 2,3 \lg \frac{(u'_{\text{кр}} - u'_p)}{(u'_k - u'_{\text{пр}})} = \frac{(0,54 - 0,01)}{0,00075} 2,3 \lg \frac{(0,54 - 0,01)}{(0,1 - 0,01)} = \\ &= 1252 \text{ с} = 0,35 \text{ год.} \end{aligned}$$

Знаючи час сушіння, та довжину зони сушіння, можна визначити швидкість стрічка, за наступним рівнянням:

$$\omega_{\text{стр}} = \frac{L_{\text{суш}}}{\tau} = \frac{10}{5012} = 0,002 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 7,2 \frac{\text{м}}{\text{год}}.$$

#### 4.5.2 Матеріальний баланс

Визначимо кількість води  $W$ , що випарюється під час процесу сушіння, за рівнянням:

$$W = \frac{G_{\text{сух}}}{\omega} = \frac{77,25}{0,755} = 102,32 \text{ кг.} \quad (14)$$

Тепер можна обчислити загальну масу матеріалу, що надходить на сушіння:

$$G_3 = G_{\text{сух}} + W = 77,25 + 102,32 = 179,57 \text{ кг.} \quad (15)$$

Абсолютна вологість у % буде становити:

$$\omega_a = \frac{W}{G_{\text{сух}}} 100 = \frac{102,32}{77,25} 100 = 132,45\%. \quad (16)$$

*Для літніх умов.*

Витрата матеріалу, що надходить у сушарку буде становити:

$$G_{\text{п}} = \frac{G_3}{\tau} = \frac{179,57}{5370} = 0,033 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (17)$$

Продуктивність сушарки:

$$G_{\text{к}} = \frac{G_{\text{сух}}}{\tau} = \frac{77,25}{5370} = 0,014 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (18)$$

Продуктивність випарювання води з матеріалу:

$$G_{\text{в}} = \frac{W}{\tau} = \frac{102,32}{5370} = 0,019 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (19)$$

**Баланс води в сушарці.** Виходячи з рівняння матеріального балансу, можна визначити витрату повітря у сушарці.

При стабільному процесі сушки і відсутності втрат, волога надходить у сушарку з матеріалом і повітрям, а виходить з висушеним матеріалом і повітрям. Запишемо рівняння балансу води:

$$G_n \omega + Lx_1 = G_k \omega_c + Lx_2, \quad (20)$$

де:  $L$  – кількість абсолютно сухого повітря, необхідного для сушки,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  
 $x_1 = 0,01 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ,  $x_2 = 0,072 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$  – вологовміст повітря на вході в сушарку і виході з сушарки, відповідно, для літніх умов;  $\omega_c = 0,1$  – вологість матеріалу на виході із сушарки[7].

Витрату повітря в сушарці можна визначити за рівнянням:

$$L = \frac{G_n \omega - G_k \omega_c}{x_2 - x_1} = \frac{0,033 \cdot 0,755 - 0,014 \cdot 0,1}{0,072 - 0,01} = 0,39 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (21)$$

Знайдемо питому витрату сухого повітря:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{0,072 - 0,01} = 16,1 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}. \quad (22)$$

*Для зимових умов.*

Витрата матеріалу, що надходить у сушарку буде становити:

$$G_n = \frac{G_3}{\tau} = \frac{179,57}{5012} = 0,036 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Продуктивність сушарки:

$$G_k = \frac{G_{\text{сух}}}{\tau} = \frac{77,25}{5012} = 0,016 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Продуктивність випарювання води з матеріалу:

$$G_v = \frac{W}{\tau} = \frac{102,32}{5012} = 0,02 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

**Баланс води в сушарці.** Виходячи з рівняння матеріального балансу, можна визначити витрату повітря у сушарці.

При стабільному процесі сушки і відсутності втрат, волога надходить у сушарку з матеріалом і повітрям, а виходить з висушеним матеріалом і повітрям. Запишемо рівняння балансу вологи:

$$G_{\text{п}}\omega + Lx_1 = G_{\text{к}}\omega_c + Lx_2,$$

де:  $L$  – кількість абсолютно сухого повітря, необхідного для сушки,  $\frac{\text{кг}}{\text{с}}$ ;  
 $x_1 = 0,005 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$ ,  $x_2 = 0,072 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}$  – вологовміст повітря на вході в сушарку і виході з сушарки, відповідно, для зимових умов;  $\omega_c = 0,1$  – вологість матеріалу на виході із сушарки[7].

Витрату повітря в сушарці можна визначити за рівнянням:

$$L = \frac{G_{\text{п}}\omega - G_{\text{к}}\omega_c}{x_2 - x_1} = \frac{0,036 \cdot 0,755 - 0,016 \cdot 0,1}{0,072 - 0,005} = 0,38 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

Знайдемо питому витрату сухого повітря:

$$l = \frac{1}{x_2 - x_1} = \frac{1}{0,072 - 0,005} = 14,9 \frac{\text{кг}}{\text{кг}}.$$

#### 4.5.3 Тепловий баланс

*Для літніх умов.*

Рівняння теплового балансу в сушарці має вигляд:

$$Q_{\text{пп}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{мп}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{зп}} + Q_{\text{сп}} = Q_{\text{пк}} + Q_{\text{мк}} + Q_{\text{ск}} + Q_{\text{зк}}, \quad (23)$$

Припустивши, що  $Q_{\text{сп}} = Q_{\text{ск}}$  – початкова і кінцева кількість теплоти, сушарки стрічки сушарки. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$Q_{\text{пп}} + Q_{\text{в}} + Q_{\text{мп}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{зп}} = Q_{\text{пк}} + Q_{\text{мк}} + Q_{\text{зк}}. \quad (24)$$

Кількість теплоти, що надходить у калорифер з повітрям:

$$Q_{\text{пп}} = LI_0 = 0,39 \cdot 48000 = 18720 \text{ Вт}, \quad (25)$$

де:  $I_0 = 48000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – ентальпія повітря, що входить в калорифер і визначається за діаграмою характеристик повітря при літніх умовах (Рисунок 3.1).

Кількість теплоти, що надходить з вологою:

$$Q_v = G_v c_v t_n = 0,019 \cdot 4193 \cdot 20 = 1593 \text{ Вт}, \quad (26)$$

де:  $c_v = 4193 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – питома теплоємність води, що надходить у сушарку, при температурі  $t_n$ ;  $t_n = 20^\circ\text{C}$  – температура води і матеріалу на вході в сушарку.

Кількість теплоти, що надходить з матеріалом:

$$Q_{мп} = G_{к} c_{м} t_n = 0,014 \cdot 2220 \cdot 20 = 621 \text{ Вт}, \quad (27)$$

де:  $c_{м} = 2220 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – питома теплоємність матеріалу, на вході в сушарку.

Кількість теплоти калорифера:

$$Q_k = L(I_1 - I_0) = 0,39 \cdot 132000 = 51480 \text{ Вт}, \quad (28)$$

де:  $I_1 = 180000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – ентальпія повітря, що виходить із калорифера, з рисунка 3.1.

$$Q_{пк} = L I_2 = 0,39 \cdot 230000 = 89700 \text{ Вт}, \quad (29)$$

де:  $I_2 = 230000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – ентальпія повітря, що виходить із сушарки, з рисунка 3.1.

Кількість теплоти, що виходить з сушарки, разом з висушеним матеріалом:

$$Q_{мк} = G_{к} c_{м} t_k = 0,014 \cdot 2220 \cdot 100 = 3108 \text{ Вт}, \quad (30)$$

де:  $t_k = 100^\circ\text{C}$  – температура матеріалу на виході із сушарки.

Обчислимо тепловий баланс, та знайдемо кількість теплоти, що потрібно підвести за рахунок змішувика:

$$18720 + 1593 + 621 + 51480 + Q_{зп} = 89700 + 3108 + Q_{зв}. \quad (31)$$



де:  $Q_{зп}$  і  $Q_{зк}$  — кількість теплоти на вході в змієвик і виході відповідно.

Визначимо кількість теплоти, що надходить з паром у змієвик:

$$Q_{зп} = G_3(c_p t_{пп} + r) = G_3 \cdot (2257 \cdot 130 + 2174 \cdot 10^3) = G_3 \cdot 2467410, \quad (32)$$

де:  $r = 2174 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  — питома теплоємність пароутворення, для пару при температурі насиченого пара, що подається у змієвик  $t_{пп} = 130^\circ\text{C}$ ;  $c_p = 2257 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$  питома теплоємність пара, при температурі  $t_{пп}$ .

Визначимо кількість теплоти, що виходить з конденсатом, зі змієвика:

$$Q_{зк} = G_3 c_k t_{пк} = G_3 \cdot 4233 \cdot 110 = G_3 \cdot 464530, \quad (33)$$

де:  $t_{пк} = 110^\circ\text{C}$  — температура конденсату на виході зі змієвика;  $c_k = 4233 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$  — питома теплоємність конденсату при температурі  $t_{пк}$ .

Обчислимо витрату пара з теплового балансу:

$$G_3 = \frac{89700 + 3108 - 18720 - 1593 - 621 - 51480}{(2467410 - 464530)} = \frac{20394}{2002880} = 0,01 \frac{\text{кг}}{\text{с}}. \quad (34)$$

*Для зимових умов.*

Рівняння теплового балансу в сушарці має вигляд:

$$Q_{пп} + Q_v + Q_{мп} + Q_k + Q_{зп} + Q_{сп} = Q_{пк} + Q_{мк} + Q_{ск} + Q_{зк}.$$

Припустивши, що  $Q_{сп} = Q_{ск}$  — початкова і кінцева кількість теплоти, сушарки стрічки сушарки. Тоді рівняння прийме вигляд:

$$Q_{пп} + Q_v + Q_{мп} + Q_k + Q_{зп} = Q_{пк} + Q_{мк} + Q_{зк}.$$

Кількість теплоти, що надходить у калорифер з повітрям:

$$Q_{пп} = L I_0 = 0,38 \cdot 10000 = 3800 \text{ Вт},$$

де:  $I_0 = 10000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  — ентальпія повітря, що входить в калорифер і визначається за діаграмою характеристик повітря при зимових умовах (Рисунок 3.2).

Кількість теплоти, що надходить з вологою:

$$Q_v = G_v c_v t_n = 0,02 \cdot 4193 \cdot 20 = 1667 \text{ Вт},$$

де:  $c_v = 4193 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – питома теплоємність води, що надходить у сушарку, при температурі  $t_n$ ;  $t_n = 20^\circ\text{C}$  – температура води і матеріалу на вході в сушарку.

Кількість теплоти, що надходить з матеріалом:

$$Q_{мл} = G_{к} c_{м} t_n = 0,016 \cdot 2220 \cdot 20 = 710 \text{ Вт},$$

де:  $c_{м} = 2220 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  – питома теплоємність матеріалу, на вході в сушарку.

Кількість теплоти калорифера:

$$Q_k = L(I_1 - I_0) = 0,38 \cdot 158000 = 60040 \text{ Вт},$$

де:  $I_1 = 168000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – ентальпія повітря, що виходить із калорифера, з рисунка 3.2.

$$Q_{пк} = L I_2 = 0,38 \cdot 230000 = 87400 \text{ Вт},$$

де:  $I_2 = 230000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  – ентальпія повітря, що виходить із сушарки, з рисунка 3.2.

Кількість теплоти, що виходить з сушарки, разом з висушеним матеріалом:

$$Q_{мк} = G_{к} c_{м} t_k = 0,016 \cdot 2220 \cdot 100 = 3552 \text{ Вт},$$

де:  $t_k = 100^\circ\text{C}$  – температура матеріалу на виході із сушарки.

Обчислимо тепловий баланс, та знайдемо кількість теплоти, що потрібно підвести за рахунок змішувика:

$$3800 + 1667 + 710 + 60040 + Q_{зп} = 87400 + 3552 + Q_{зк},$$

де:  $Q_{зп}$  і  $Q_{зк}$  – кількість теплоти на вході в змішувик і виході відповідно.

Визначимо кількість теплоти, що надходить з паром у змішувик:

$$Q_{зп} = G_3(c_{п}t_{пп} + r) = G_3 \cdot (2257 \cdot 130 + 2174 \cdot 10^3) = G_3 \cdot 2467410,$$

де:  $r = 2174 \cdot 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  — питома теплоємність пароутворення, для пару при температурі насиченого пара, що подається у змієвик  $t_{пп} = 130^\circ\text{C}$ ;  $c_{п} = 2257 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$  питома теплоємність пара, при температурі  $t_{пп}$  [26].

Визначимо кількість теплоти, що виходить з конденсатом, зі змієвика:

$$Q_{зк} = G_3 c_{к} t_{пк} = G_3 \cdot 4233 \cdot 110 = G_3 \cdot 464530,$$

Де:  $t_{пк} = 110^\circ\text{C}$  — температура конденсату на виході зі змієвика;  $c_{к} = 4233 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}^\circ\text{C}}$  — питома теплоємність конденсату при температурі  $t_{пк}$ .

Обчислимо витрату пара з теплового балансу:

$$G_3 = \frac{87400 + 3552 - 3800 - 1667 - 710 - 60040}{(2467410 - 464530)} = \frac{24735}{2002880} = 0,012 \frac{\text{кг}}{\text{с}}.$$

## Висновки

Розроблена конструкція пристрою для неперервного формування твердого біопалива з надлишкового активного мулу.

Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції пристрою. Визначені основні розміри пристрою.

Визначений час сушіння, який становить 1,39 годин для зимових умов та 1,49 для літніх умов. Визначена швидкість стрічки конвеєра, яка становить 0,0019 м/с для літніх умов та 0,002 м/с для зимових умов.

Продуктивність пристрою неперервної дії для формування твердого біопалива становить 0,014 кг/с для літніх умов та 0,016 кг/с для зимових умов.

5 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Резюме

**Бізнес ідея:** створення гранул для систем опалення з активного мулу, що утворюється унаслідок біологічного очищення води води.

**Мета стартапу:** отримати зразки гранул, порівняти отримані зразки гранул з іншими, які присутні на ринку проаналізувати можливість переходу на опалення тільки гранулами з активного мулу, за для збереження довкілля.

**Назва розробки:** «Eco-bricks».

**Тема розробки:** використовуючи активний мул, створити паливні гранули, та започаткувати виробництво гранул.

**Суб’єкт замовлення:** Український екологічний альянс.

**Об’єкт дослідження:** активний мул, що утворюється в анаеробних біореакторах.

**Місце розробки в інноваційному ланцюжку цінності:** дана ідея знаходиться на етапі розробки, оскільки проводяться дослідження активного мулу, методів його сушіння в лабораторії Інституту технічної теплофізики НАН України.

Плановий обсяг випуску продукції зазначений у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 - Плановий обсяг випуску продукції

Грудень – 10 кг	Червень – 2000 кг
Січень – 50 кг	Липень - 2000 кг
Лютий – 100кг	Серпень - 2000 кг
Березень – 1000 кг	Вересень 2000 кг
Квітень – 1500 кг	Жовтень - 2000 кг
Травень – 2000 кг	Листопад - 2000 кг

**Продукт старту:** паливні гранули з вторинної сировини анаеробного очищення води - активного мулу.

**Технологія:** з готової вторинної сировини отримання паливних гранул, використовуючи зневоднення активного мулу, гаряче формування і сушіння композиту за допомогою пристрою неперервного формування твердого біопалива з активного мулу.

**Джерела сировини:** сировину постачає замовник - Український екологічний альянс. Сировина постачається з анаеробних біореакторів, що встановлюються на водоймах з тяжким забрудненням органічними залишками, переважно у великих містах.

#### **Кваліфікація персоналу:**

1. Інженер - розробник: повна вища освіта; навички у сфері виготовлення твердого біопалива; знання процесів тепло-, масо- обміну та сушіння композитних матеріалів;

2. Робітники - мінімальні знання з процесів тепло-, масо- обміну.

**Споживач:** підприємства з власними опалювальними станціями, жителі приватних будинків.

**Ринок збуту:** оптовий продаж великими партіями перекупникам, продаж на пряму споживачам, також можливий роздрібний продаж.

#### **Конкурентні переваги:**

1. Екологічність розробки.
2. Гранули з переробленої вторинної сировини.
3. Висока теплотворна здатність.
4. Можливість використовувати гранул як у приватних будинках, так і у промислових масштабах.

Техніко-економічні показники продукції зазначена у таблиці 4.2.

Таблиця 5.2 - Техніко-економічні показники

Показник	Значення
Ціна	699720 грн
Собівартість	450 550 грн
Прибуток	249170 грн
Основні фонди	15 000 грн
Оборотні засоби	435 550 грн/за 1 рік
Ринкова ціна	42 грн/кг
Плановий обсяг продукції	16 660 кг гранул
Період повернення капіталовкладень	2 роки 3 місяці

5.2Аналіз зовнішнього та внутрішнього середовища стартапа. Загрози і можливості зовнішнього середовища

Оцінка загрози і можливостей зовнішнього середовища зазначена у таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Оцінка загроз і можливостей зовнішнього середовища

Загрози	Можливості
Політика	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Зменшення державного фінансування промисловості альтернативних джерел енергії;</li><li>- Політична нестабільність в країні;</li><li>- Введення податку на використання гранул;</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Відсутність коштів на закупівлю гранул з деревини або торфу;</li><li>- Співпраця з іноземними компаніями та експорт продукції закордон;</li><li>- Використання рослин поза впливом даної загрози;</li></ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Відсутність підтримки розвитку наукових досліджень.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Співпраця із закордонними інститутами та компаніями.</li> </ul>
Економіка	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Зміна курсу гривні (інфляція);</li> <li>- Нестабільний курс валют;</li> <li>- Зниження рівня доходів населення;</li> <li>- Зниження рівня зайнятості населення.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість взяти довгостроковий кредит;</li> <li>- Зменшення кількості конкурентів;</li> <li>- Неспроможність населення купувати достатню кількість гранул;</li> <li>- Можливість наймати достатню кількість кваліфікованих кадрів.</li> </ul>
Географія	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Зміна клімату;</li> <li>- Зменшення кількості сировини;</li> <li>- Негативна екологічна ситуація;</li> <li>- Збільшення кількості активного мулу;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Удосконалення обладнання для отримання, збереження та транспортування активного мулу;</li> <li>- Можливість пошуку інших постачальників сировини на території держави та за кордоном.</li> <li>- Необхідність застосовувати екологічні методи та продукцію;</li> <li>- Збільшення потужностей виробництва.</li> </ul>
Демографія	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Зменшення популярності освіти в напрямку альтернативних джерел енергії;</li> <li>- Скорочення робочих місць і безробіття; підвищення вартості життя в місті;</li> <li>- Зниження попиту у зв'язку з збільшенням смертності;</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість навчати інженерів біотехнологів використанню альтернативних джерел енергії;</li> <li>- Міграція населення в сільські місцевості і потреба в опаленні будинків;</li> <li>- Зацікавленість населення використовувати екологічні методи для збереження здоров'я;</li> </ul>



- Населення чи підприємства, що будуть використовувати нашу розробку, можуть намагатися продавати гранули з метою отримання прибутку.	- Відкриття оптових продажів, для зацікавлених клієнтів у великих поставках гранул.
Культура	
- Розповсюдження слухів про шкідливість біологічного очищення води і як результат - гранул; - Міграція молоді закордон.	- Порівняння гранул з активного мулу зі звичайними, тим самим показуючи, що гранули з активного мулу більш екологічні; - Реклама продукції за кордоном.
Науково – технічний прогрес	
- Популяризація інших технологій альтернативних джерел енергії в особливості альтернативного горючого палива; - Поява конкурентоспроможної технології на ринку.  - Низький рівень науково-технічного прогресу в Україні та відсутність сприяння їм з боку держави	- Залучення нових фахівців, що займаються науковою діяльністю у сфері альтернативних джерел енергії, для покращення розробки; - Покращення технології виробництва та продукції у цілому. - Можливість виходу на міжнародний ринок.

### 5.3 Переваги та недоліки внутрішнього середовища

Оцінка переваг та недоліків внутрішнього середовища наведена у таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 - Оцінка переваг та недоліків внутрішнього середовища

Переваги	Недоліки
Постачальники	
- Наявність постачальників сировини і матеріалів в Україні; - Швидка та недорога доставка товару.	- Невчасне постачання товару; - Можливість пошкодження або краді товару при транспортуванні.

Виробництво	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Можливість виготовлення брикетів у Інституті технічної теплофізики;</li> <li>- Можливість експериментувати з концентрацією активного мулу;</li> <li>- Можливість використовувати склади Інституту теплофізики, для зберігання сировини;</li> <li>- Можливість використовувати сировину, яка надається замовником;</li> <li>- Висока якість гранул через сучасне обладнання;</li> <li>- Автоматизація виробництва;</li> <li>- Низька чисельність персоналу;</li> <li>- Часткова зайнятість персоналу;</li> <li>- Витрати на транспорт бере на себе замовник.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Необхідно наявність дорогого обладнання, таке як пристрій неперервного виробництва твердого біопалива і пристрої попереднього зневоднення активного мулу</li> <li>- Необхідність контролю обладнання та сировини;</li> <li>- Необхідність утилізувати воду після випарювання.</li> </ul>
Споживачі	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Низька ціна у порівнянні з деревними гранулами;</li> <li>- Зацікавленість споживачів у використанні екологічних технологій;</li> <li>- Висока теплотворна здатність у порівнянні з деревними гранулами.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Проблеми з постачанням сировини;</li> <li>- Присутній легкий запах після сушіння гранул.</li> </ul>
Посередники	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Посередником є замовник, який бере на себе транспортні витрати.</li> <li>- Інститут теплофізики надає безкоштовні склади.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Залежність від замовника.</li> </ul>

Конкуренти	
<ul style="list-style-type: none"><li>- Паливні гранули – екологічно чистий продукт;</li><li>- Технологія виготовлення відома малій кількості людей;</li><li>- Відсутність схожих технологій – відсутність прямих конкурентів.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Виробництво паливних гранул з деревини та торфу.</li><li>- Наявність конкурентів у світі, проте їх технології уступають за ефективністю.</li></ul>

5.4Оцінка ключових факторів успіху проекту Методом Шонфільда

Оцінка конкурентоспроможності проводилась методом Шонфільда. Оцінка показника якості продукту відбувалась за 5-ти бальною шкалою. Коефіцієнт вагомості показника для замовника лежав у межах 0... 1 (Таблиця 5.5, рисунок 5.1)[29].

Таблиця 5.5 - Оцінка конкурентоспроможності продукції підприємства за методом Шонфільда

№	Характеристика	Коефіцієнт вагомості	Оцінка показника за 5-бальною шкалою	
			Гранули з активного мулу	Гранули з торфу
1	Середня продуктивність виробництва, т/місяць	0,3	3	4
2	Ціна, грн/т	0,3	5	3
3	Теплотворна здатність гранул, кДж	0,2	4	5
4	Екологічність розробки, %	0,2	5	0

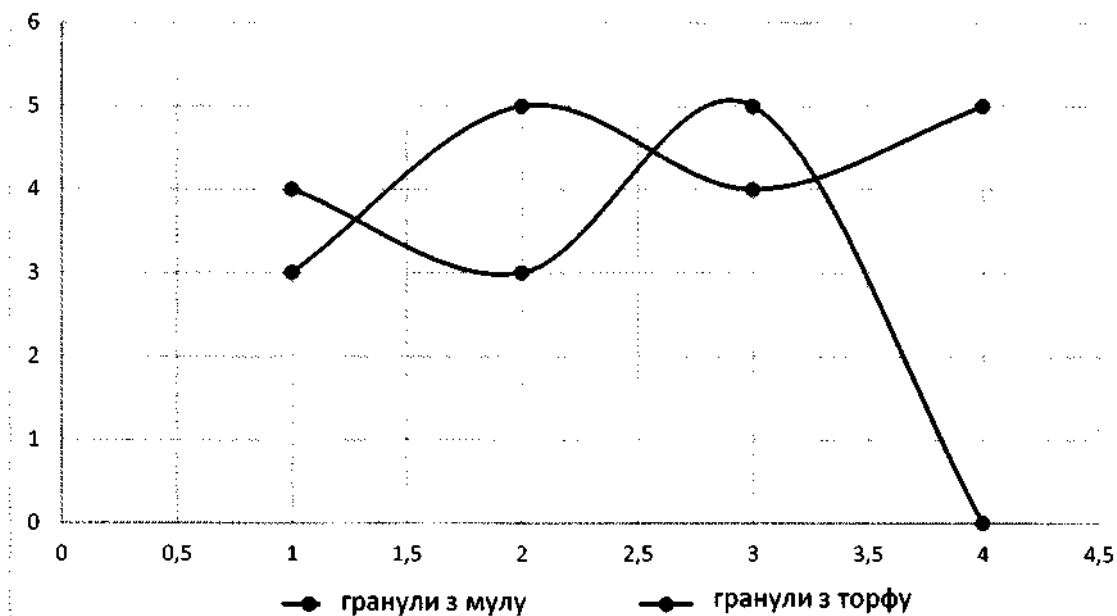


Рисунок 5.1 - Графічне зображення оцінок конкурентоспроможності, де П(1) - продуктивність, Ц(2) - ціна, Ч(3) - час тління, Е(4) - екологічність розробки.

Отже, розроблений продукт є конкурентоспроможним. Ключовими факторами проекту є середня продуктивність виробництва та ціна.

### 5.5 Анкета для споживачів з метою визначення їх бачення запропонованої інновації

1.	Ваша стать:	<input type="radio"/> жіноча <input type="radio"/> чоловіча
2.	Ваш вік:	<input type="radio"/> 16-25 <input type="radio"/> 26-35 <input type="radio"/> 36-45 <input type="radio"/> 46-60  <input type="radio"/> від 61
3.	Місце проживання:	<input type="radio"/> місто <input type="radio"/> смт <input type="radio"/> сільська місцевість
4.	Якій продукції Ви надаєте перевагу:	<input type="radio"/> екологічній <input type="radio"/> дешевій  <input type="radio"/> продукції відомої марки
5.	Ваше ставлення до паливних гранул:	<input type="radio"/> позитивне <input type="radio"/> нейтральне  <input type="radio"/> насторожуюче
6.	Чи знаєте Ви про паливними гранули:	<input type="radio"/> так <input type="radio"/> ні  <input type="radio"/> не цікавлюсь
7.	Які альтернативні методи отримання енергії Ви знаєте:	<input type="radio"/> екологічні паливні гранули  <input type="radio"/> вітряки <input type="radio"/> сонячні батареї
8.	Чи хотіли б Ви використовувати паливні гранули з вторинної сировини:	<input type="radio"/> так  <input type="radio"/> ні  <input type="radio"/> залежить від ціни
9.	Які паливні гранули на Вашу думку кращі:	<input type="radio"/> торф'яні  <input type="radio"/> з вторинної сировини(активного мулу)  <input type="radio"/> дерев'яні
10.	Чи готові Ви спробувати використовувати гранули з вторинної сировини(активного мулу):	<input type="radio"/> так  <input type="radio"/> ні  <input type="radio"/> немає необхідності

## 5.6 Паспорт клієнта

У паспорті клієнта (Таблиця 5.6) вказано співвідношення між категоріями клієнта та його критеріями.

Таблиця 5.6 - Паспорт клієнта

Категорія	Критерії
Форма реєстрації	Фізична особа ФОП
За масштабом	Середнє Мале
За сплатоспроможністю	1000 – 10000 грн/придбання 11000 - 30000
Географія	Структура регіону – велика кількість приватних будинків і підприємств.
Обмеження	Спосіб життя – за збереження екології.
Ставлення до товару	Мотивація придбання – екологічність продукції, дешевизна. Пошук вигоди – перепродаж. Інтенсивність споживання товару – переважно, тільки зимовий період року.
Характеристика споживача	Вік – 30-45 років. Рівень доходу – від 8 000 грн/місяць.
Співвідношення бажання придбати і цінової межі	Місячна з/п – кг продукції в місяць: 10000 – 60 кг. 12000 і більше – 40-50 кг. 8000 – 20-30 кг.

### 5.7 Оцінка ринкової позиції інноваційної розробки

У Таблиці 5.7 наведено систематизовані матеріали розробки стартапу, використовуючи які, ми можемо визначити місце розробки у системі ринкового впровадження [29].

Таблиця 5.7 - Систематизація матеріалів розробки стартапу

Показник	Характеристика
1. Ідея після коригування споживачами	Забезпечення дешевого і екологічно чистого опалення будинків у зимній сезон.
2. Основна потреба, яку задовольнить реалізований стартап	Дешевий спосіб опалення будинків.
3. Класифікація продукту стартапу за міжнародною класифікацією товарів	Гранули паливні – 040019.
4. Місце ідеї у ланцюжку цінностей інноваційного процесу	Ідея знаходиться на стані остаточних досліджень, які спрощують метод виготовлення
5. Гранична корисність ідеї стартапу	Ідея являється дуже корисною для суспільства, але тільки у сезон опалення.
6. Бізнес-модель стартапу	B2B
7. Прототипи ідеї (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться)	Прототипи паливних гранул розроблені і мають високу оцінку від споживача – 52 грн/кг.
8. Аналоги ідеї (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться)	Дерев'яні гранули, знаходиться на етапі виробництва, ціна – 56 грн/кг Торф'яні гранули, знаходяться на етапі виробництва, ціна – 58 грн/кг.
9. Конкуренти вітчизняні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться, основні конкурентні переваги, фактори успіху)	У конкурентів спостерігається вища ціна, більш потужне виробництво і більша популярність серед споживачів.

10.Конкуренти іноземні (ціна, на якому етапі реалізації знаходяться, основні конкурентні переваги, фактори успіху)	Іноземних конкурентів немає.
11.Ключові фактори успіху стартапу	Екологічність паливних гранул з активного мулу, дешевизна і висока теплотворна здатність, у порівнянні з конкурентами.
12.Споживачі (основні на етапі впровадження, групи, орієнтовна чисельність)	На етапі досліджень наявний єдиний споживач – Екологічний альянс України. Також споживачем буде забезпечуватися реклама.
13.Планова кількість продукту розробки для першого етапу реалізації	16 660 кг.
14.Споживачі на етапі розвитку	Більша кількість підприємств, орієнтовно 3-5.
15.Споживачі на етапі зрілості	На етапі зрілості кількість підприємств збільшиться до 6-8, також почнеться роздрібна торгівля.
16.Конкурентна ціна на продукт стартапу	Один з вітчизняних конкурентів пропонує паливні брикети з дерева за ціною 46 грн/кг.
17.Плановий рівень рентабельності при реалізації продукту	Планована рентабельність за 1 рік – 55,3%.
18.Мінімальна кількість виробництва за методом точки беззбитковості	6000 кг/рік.
19.Основні компоненти продукції стартапу (їх доля у готовому товарі, ступінь готовності компонентів у наявному виробництві)	Мул – 70% - постійні тижневі поставки. Тирса – 10%- постійні тижневі поставки. Енергія на виробництво – 20% - постійний доступ.
20.Потенційні постачальники складових компонентів	Сировина постачається за рахунок Екологічного альянсу України з очисних



розробки (виділити вітчизняних і закордонних, плановий обсяг замовлень, наявна потужність постачальника)	станцій у достатній кількості. Також заплановане постачання сировини від обласних очисних станцій України. В результаті потужність має зрости мінімум втричі. Постачання сировини з-за кордону поки не розглядається, через високу ціну на транспортування.
21. Планове місце реалізації результату розробки (місце, планова доля реалізації продукту через це місце)	Плановане місце реалізації – Інститут технічної теплофізики у місті Київ, також у плані розвитку – побудова заводу на околицях Києва, так як Київ – найбільший постачальник сировини.
22. Наявність посередників при реалізації (так, ні, орієнтовні посередники, форми оплати їх діяльності)	На даному етапі посередники – не залучені. Після збільшення потужностей виробництва, розглядається залучення посередників.
23. Методи просування результатів розробки на ринок <ul style="list-style-type: none"> <li>- Пропаганда</li> <li>- Реклама</li> <li>- Особистий продаж</li> <li>- Стимулювання збуту</li> </ul>	Під час першого року виробництва, будуть відбуватися рекламні заходи, за рахунок Екологічного альянсу України. У подальших роках буде сформований рекламний план, роздрібна торгівля і збільшення кількості підприємств-споживачів.

Джерелом фінансування стартапу являється Екологічний альянс України. Після закінчення контракту з Екологічний альянсом України, фінансування стартапу буде відбуватися через продажі гранул. У подальшому планується підписання контрактів з декількома підприємствами на постійні поставки паливних гранул.

Також планується залучення інших асоціацій України і співпраця із замовниками з-за кордону.

## 5.8 Ціна інновації пропозиції на ринку

На основі кількості сировини і потужності наявного обладнання планований випуск продукції за рік = 16 660 кг гранул.

**Собівартість продукції за рік:**

$$C_{\text{рік}} = \text{Обз} + A = 435\,550 + 15\,000 = 450\,550 \text{ грн/рік.}$$

За планом, кожного місяця замовник отримує 85% гранул, які були виготовлені за цей період, в середньому це становить  $2000 \cdot 0.7 = 1400$  кг гранул:

$$C_{\text{од.пр.}} = \frac{C_{\text{рік}}}{B_{\text{рік}}} = \frac{450\,550}{16\,660} = 27 \frac{\text{грн.}}{\text{кг}}$$

**За витратним методом ціноутворення:**

Розрахуємо ціну продукту (1 кг гранул), враховуючи собівартість продукції згідно калькуляції на перший рік:

$$C_p = C + 15\%C = 450\,550 + 0,15 \cdot 450\,550 = 516\,132 \text{ грн}$$

$$C_{\text{кг}} = \frac{C_p}{B_p} = \frac{516\,132}{16\,660} = 31 \frac{\text{грн.}}{\text{кг}}$$

**Агрегатний метод** - суть методу полягає в тому, що ціна визначається додаванням цін окремих складових частин товару (в нашому випадку це сировина і додаткові матеріали), до якої додаються витрати на їх комплектацію і прибирання (витрати на роботу по виготовленню продукту і витрати на модернізацію устаткування).

$$C_p = C_m + C_{\text{роб}} = \frac{5000}{16660} + \frac{98000 + 276500 + 15000 + 60000}{16660} = 29,5 \frac{\text{грн}}{\text{кг}}$$

**Параметричний метод** заснований на порівнянні експертних бальних оцінок, даних основним параметрам нового і базового товару (або декількох конкуруючих товарів).

Основним параметром паливних гранул являється теплотворна здатність, порівнюючи продукцію, яка є на ринку і паливні гранули з активного мулу, теплотворна здатність гранул з активного мулу не відрізняється від гранул, які використовуються зараз. У зв'язку з результатом ціна паливних гранул з активним мулом = ціні паливних гранул з деревини і становить 56 грн/кг.

**Конкурентний метод** - метод ціноутворення на основі рівня поточних цін, метод визначення ціни за рівнем конкурентоспроможності товару, метод встановлення ціни на підставі торгів.

Конкурентом на ринку являються дерев'яні і торф'яні паливні гранули. За оцінкою експертів, щоб новий продукт на ринку був конкурентоспроможним його ціна повинна бути на 10-25% менша за середню ціну дерев'яних і торф'яних гранул, яка становить 56 грн/кг[29].

$$Ц_{кг} = 0.75 \cdot Ц_{к} = 42 \frac{грн}{кг}$$

**Метод  
беззбитковості**

**точки**

$$Ц_{кг} = C_{од.пр.} = 27 \frac{грн}{кг}$$

Обираємо ціну, яка була визначена за конкурентним методом ціноутворення і проводимо подальші розрахунки.

$$Ц = 42 \text{ грн} / \text{кг}$$

*Вартість випущеної продукції за рік:*

$$Ц_p = Ц_{кг}^{сп.} \cdot B_p = 42 \cdot 16660 = 699\,720 \text{ грн} / \text{рік}.$$

*Балансовий прибуток підприємства за перший рік:*

$$П_p = Ц_p - C_p = 669\,720 - 450\,550 = 249\,170 \text{ грн} / \text{рік}$$

*Економічний прибуток підприємства за перший рік:*

$$ЕП = 0.82 \cdot 249\,170 = 204\,319 \text{ грн} / \text{рік}$$

*Капіталовкладення за рік:*

$$K = ОФ + ОбЗ = 15\,000 + 435\,550 = 450\,550 \text{ грн.}$$

Наступного року планується зменшення оборотних засобів вдвічі.

*Капіталовкладення на одиницю продукції:*

$$K_{од} = K / B_{рік} = 450\,550 / 16\,660 = 27 \text{ грн/кг.}$$

*Рентабельність підприємства за перший рік:*

$$P = \frac{\Pi_{\text{рік}}}{C_{\text{рік}}} \times 100 \% = \frac{204\,319}{450\,550} \times 100 \% = 45,3 \, \% .$$

*Економічна ефективність за перший рік:*

$$E = \frac{\Pi}{K} = \frac{204\,319}{450\,550} = 0,45 .$$

*Період повернення капіталовкладень:*

$$T_{\text{пов.}} = \frac{1}{E} = \frac{1}{0,45} = 2,2 = 2 \text{ роки } 3 \text{ місяці} .$$

## 5.9 Оптимальна технологія продажу

Так як 70% гранул надходить Екологічному альянсу України, інші 30% ми використовуємо для залучення інших клієнтів на наступні роки, а також забезпечуємо гранулами невеликі підприємства.

За рахунок реклами від Екологічного альянсу України і за рахунок залучення клієнтів, формується клієнтська база.

Паралельно з виробництвом, у підприємства формується власний капітал, який буде використано на збільшення потужності виробництва, так як клієнтська база з кожним місяцем збільшується.

У подальшому планується співпрацювати з перекупниками, які будуть продавати паливні гранули у роздріб. Також, після збільшення потужності планується підписання контрактів з підприємствами на постійні поставки гранул.

Також під час реалізації даної розробки планується застосовувати модель продажу, яка орієнтована на покупця. Дана модель продажу допомагає сконцентруватися на допомозі клієнту купити товар, тобто створити умови, при яких клієнту буде легко і просто купити товар у вас. Для досягнення максимального результату тепер потрібно не продавати товар, а допомагати споживачеві його купити. Даний принцип можна назвати основним при побудові моделей продажів підприємства, що орієнтується на покупця. Слід зазначити, що в якості основної маркетингової концепції, на якій будується модель продажів, орієнтованих на покупця, часто пропонують використовувати концепцію маркетингу стосунків.

Застосування ж моделі продажів, орієнтованих на покупця, передбачає забезпечення покупцям зручності купівлі, налагодження зворотного зв'язку з ними, підтримку лояльності до товару і місця продажу. Тому в умовах орієнтації підприємства на задоволення потреб кінцевого споживача повинен бути сформований комплекс маркетингових інструментів, здатних забезпечити не

тільки збут товарів за межі підприємства, але і їхнє доведення безпосередньо до покупця.

#### 5.10 Концепція бізнес-моделі проекту

Дана розробка, у більшій своїй частині буде відігравати, як модель B2C, для забезпечення паливними гранулами підприємства. Але за кілька років планується перехід до системи B2B та співпраці з посередниками продукції на вітчизняному ринку, та за кордоном.

Концепція бізнес-моделі, яка буде використана — це концепція розділення. Дана бізнес-модель включає три фундаментальні форми бізнес-діяльності:

- Бізнес орієнтований на клієнта.
- Бізнес орієнтований на інновації.
- Бізнес орієнтований на інфраструктуру.

У кожній формі свої економічні, конкурентні і культурні правила.

Сенс діяльності, орієнтованої на клієнтів, полягає в пошуку споживача і побудові відносин з ним; сенс інноваційної діяльності - розробка нових товарів і послуг; а орієнтованої на інфраструктуру - побудова і управління платформами для виконання масштабних завдань, що повторюються.

У даному випадку бізнес-модель проекту буде організована так:

- 1) Пошук споживачів, зацікавлених клієнтів у даній розробці.
- 2) Модернізація і покращення технології виготовлення.
- 3) Збільшення інфраструктури та потужності виробництва, для забезпечення всіх клієнтів паливними гранулами.

5.11 Карта бізнес-процесів реалізації проекту

Карта бізнес-процесів зображає план реалізації стартап-проекту(Таблиця 5.8), показує кількість ресурсів, часу і фінансів, які потрібні на реалізацію, підтримку і збільшення виробництва[29].

Таблиця 5.8 - Карта бізнес-процесів реалізації стартап-проекту

Стадія реалізації стартап проекту	Бізнес-процеси	Характеристики		
		Задіяні ресурси	Орієнтовна тривалість процесу	Верхня межа фінансових витрат
Розробка ідеї стартапу	Розробка концепції ідеї	Розумові	1 день	0
	Аналіз ринку і конкурентів	Розумові	2 дні	0
	Дослідження сировини	Вторинні, Грошові	2 дні	200
	Дослідження процесів обробки сировини	Розумові	2 дні	0
	Дослідження обладнання	Розумові	1 день	0
	Формування остаточної концепції	Розумові	1 день	0
	Визначення ризиків	Розумові	1 день	0
	Визначення бізнес-моделей продажу і реалізації	Розумові	1 день	0
Реалізація ідеї	Розробка прототипу	Вторинні, енергетичні	1 день	200

	Пошук інвесторів	Розумові	2-7 дні	0
	Складання договору на інвестиції	Розумові	1 день	0
	Пошук сировини та методів її закупівлі	Розумові	2-4 дні	0
	Оренда/купівля обладнання і приміщень	Грошові	2-7 дні	50000
	Наймання працівників	Розумові	2-5 днів	0
	Налаштування процесу виробництва	Розумові	5-8 дні	0
Впровадження у виробництво	Виробництво першої партії	Грошові, енергетичні	1 день	1000
	Випробування товару	Розумові	1 день	0
	Налагодження способу транспортування і зберігання товару	Грошові	5-10 днів	5000
	Удосконалення обладнання	Грошові, розумові	10-20 днів	20000
	Збільшення обсягів виробництва	Грошові, розумові	10-20 днів	20000
Масова реалізація	Збільшення інфраструктури	Грошові, розумові	20-80 днів	100000
	Укладання договорів з посередниками	Грошові, розумові	10-30 днів	8000-12000
	Пошук клієнтів	Розумові	10-20 днів	0



	Удосконалення технології виробництва	Грошові, розумові	20-40 днів	20000
	Пошук постачальників сировини у більших обсягах	Грошові, розумові	10-20 днів	0
	Масова реклама продукції	Грошові, розумові	20-60 днів	20000

5.12 Функції і елементи бізнес процесів

Під функціями бізнесу розуміють діяльність, пов’язану з виробництвом і обмінними операціями між підприємцем та іншими елементами господарського середовища.

Функції і елементи бізнес процесів наведені у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 - Функції і елементи бізнес процесів

Функції	Елементи			
	Основні	Обслуговуючі	Управління	Розвиток
Ведення фінансового обліку		+		
Кадрова		+		
Матеріально-технічне забезпечення	+			
Виробнича	+			
Науково-дослідницька	+			
Підтримка підприємства			+	
Маркетинг	+			
Удосконалення технологій				+
Збільшення інфраструктури				+
Збільшення клієнтської бази				+

### 5.13 Оцінка ризиків і страхування розробки

Ступінь впливу на дохід підприємства та ймовірність настання ризиків (100 — обов’язково станеться; 10 — ризик можливий, але малоімовірний) наведено в таблиці 5.10.

Таблиця 5.10 - Оцінка можливих ризиків.

Ризик	Коефіцієнт впливу на дохід	Експертна оцінка настання ризику
<b>Комерційні ризики</b>		
Збільшення виробництва гранул	0,7	50
Конкуренти з нижчою ціною	0,9	40
Теплі зими	0,9	20
Розробка нових екологічних технологій	0,8	30
Відсутність споживчого попиту на продукт	0,97	70
<b>Організаційні ризики</b>		
Складність із забезпеченням робочої групи кадрами необхідної кваліфікації	0,75	30
Проблеми своєчасного постачання матеріально-технічних ресурсів	0,9	50
Проблеми з організацією збутової мережі	0,95	70
<b>Технічні ризики</b>		
Необхідність дообрацювання в процесі виробництва технології виготовлення продукції	0,85	10
Рекламації на продану продукцію з причини неякісного комплектування	0,7	20
<b>Фінансові ризики</b>		
Інфляція	0,75	30
Ризик неплатоспроможності споживачів	0,75	30

З метою страхування від настання ризикових подій передбачено застосування таких дій, що дають змогу мінімізувати ризики.

1. Проведення маркетингових досліджень та перевірка потреб споживача.

2. Залучення зовнішніх спеціалістів з тих областей, де ризик найбільш імовірний.

3. Прийом на роботу лише висококваліфікованих та дисциплінованих працівників, які мають хороші рекомендації.

4. Обговорення у договорах з постачальниками сировини і матеріалів порядку відшкодування збитків, заподіяних несвоєчасною поставкою сировини. Створення резервного запасу сировини та матеріалів на підприємстві.

5. Співробітництво з високотехнічними виробниками та іноземними виробниками.

6. Орієнтація на визначену категорію споживачів та на постійних клієнтів.

7. Підтримка науково-дослідних установ, які займаються розробкою новинок у даній галузі.

8. Страхування майна.

9. Прогнозування можливих ризиків.

Щодо страхування, на підприємстві планується здійснити такі види страхування:

1. Договір на поставку сировини постачальниками
2. Договір на доставку продукції замовникам
3. Страхування власного виробництва від впливу різних несприятливих факторів (пожежа, відключення електроенергії і ін.)
4. Соціальні страхування співробітників підприємства.

## Висновки

Розроблений стартап-проект виробництва твердого біопалива з надлишкового активного мулу.

З економічної точки зору, питання виробництва твердого біопалива є актуальним, так як конкурентів на ринку виробництва біопалива з надлишкового активного мулу немає.

Обґрунтовано, що виробництво твердого біопалива з іншої сировини, такої, як деревина або торф являються конкурентоспроможними, але у біопалива з надлишкового активного мулу існує лімітуюча перевага, така як дешевизна продукції.

Доведено, що за рахунок економії на сировині, так як вона являється безкоштовною, ціна на біопаливо, що виробляється, значно нижча ніж на біопаливо іншого виду.

## 6 РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Монтаж повинен виконуватися кваліфікованими спеціалістами, організаціями, які мають відповідні ліцензії на право проведення подібних робіт у відповідності до вимог діючих нормативних документів.

Апарат повинен бути встановлений таким чином, щоб мати легку можливість виконувати обслуговування і технічний огляд.

Складальні роботи з монтажу полягають в установці апаратів на металоконструкції, установці і приєднанні допоміжного устаткування, приєднання трубопроводів, деталей вузлів підведення і відводу продуктів, установці приладів теплового контролю й автоматичного регулювання. У процесі монтажу виявляються й усуваються дефекти конструкції і виготовлення апаратури. Одночасно здійснюється налагодження роботи апарата з метою підготовки до експлуатації.

Проектом виробництва монтажно-складальних робіт передбачається наступна послідовність операцій складання:

- установка корпусу апарата на металоконструкцію;
- установка елементів, що знаходяться всередині апарата;
- припасування і приєднання всіх трубопроводів;
- установка арматури і контрольно-вимірювальних приладів;
- герметизація місць з'єднання апарата (кришок, фланців і т.д.);
- приєднання допоміжних механізмів і пристроїв;
- установка огорожень;

випробування апарата на герметичність і здача інженеру Держтехнагляду;

- пробна експлуатація установки;
- проведення теплоізоляційних робіт (якщо потрібно);
- здача установки в експлуатацію.

Після закінчення монтажно-збиральних робіт апарат має неодмінно пройти випробування. Спочатку проводять підготовчі роботи, пов'язані з оглядом та

перевіркою стану всіх частин та вузлів апарата. При цьому особливу увагу необхідно звернути на присутність в конструкції арматури, приладів, кришок, заглушок, болтів, прокладок та інших деталей, які забезпечують герметичність системи.

В програму випробувань входить гідравлічне та пневматичне випробування апарата разом з трубопроводами на тиск, який вказаний на кресленні. При випробуваннях виявляють герметичність та надійність роботи вентилів, кранів, клапанів та іншої арматури, а також щільність всіх роз'ємних з'єднань.

Підготовка апарата до експлуатації включає перевірку витрат холодоносіїв, температур холодоносіїв на вході та на виході з апарату, тиск всередині апарата та в трубопроводі. При цьому слід звернути увагу на легкість та надійність управління технологічним процесом.

Результати випробувань виявляють дефекти та недоліки, які заносять в акт випробувань на конкретно взятий апарат.

Апарат вважається прийнятим в експлуатацію після підписання акту з боку представників монтажної організації та замовника.

Для дотримання правильного експлуатаційного режиму використовуючих тепло установок необхідні:

- справність і безперебійність роботи устаткування;
- високий рівень кваліфікації обслуговуючого персоналу;
- забезпечення необхідними видами енергії і раціональна її витрата.

Для безперебійної роботи устаткування необхідний: достатній резерв основного і допоміжного устаткування і дотримання правил технічної експлуатації, своєчасне виконання планово-попереджувальних ремонтів устаткування і наявність запасних частин для вузлів і деталей, які швидко зношуються.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведеного аналізу літературних джерел, виявлено, що тема утилізації надлишкового активного мулу завжди залишається актуальною, так як альтернативи біологічному очищенню стічної води у промисловості та містах, поки не знайдено.

Кількість методів утилізації активного мулу сягає 20-30, але “лідера” цих методів немає. Кожна країна, місто, підприємство використовують свої методи утилізації, які мають свої переваги та недоліки.

Запропонований метод утилізації за допомогою спалювання являється одним з перших які з’явилися, коли проблема утилізації надлишкового активного мулу постала перед фахівцями, він використовується і досі у таких країнах, як Швеція або Фінляндія.

Проведений аналіз обладнання, за допомогою якого можна виготовляти тверде біопаливо з надлишкового активного мулу, у результаті було обрано конструкцію стрічкової сушарки, як прототип для майбутнього пристрою для формування твердого біопалива.

Проведене математичне моделювання процесу сушіння, у результаті якого отримано математичну модель сушіння надлишкового активного мулу.

На основі реалізації математичної моделі, з використанням мови програмування Java, визначений розподіл температур і вологовмісту у матеріалі.

Розроблено 3D модель, у програмному забезпеченні SolidWorks, пристрою неперервного формування твердого біопалива.

Виконано розрахунок на міцність елементів конструкції пристрою, таких як: вал гарячого формування, змійовик та стрічка.

Розроблена конструкція пристрою для неперервного формування твердого біопалива з надлишкового активного мулу.



Виконані розрахунки, що підтверджують працездатність та надійність конструкції пристрою. Час сушіння надлишкового активного мулу у пристрої становить: для зимніх умов - 1,39 годин, для літніх умов - 1,49 годин. Швидкість стрічки конвеєра становить 0,0019 м/с для літніх умов та 0,002 м/с для зимових умов.

Визначена продуктивність пристрою неперервної дії для формування твердого біопалива, яка становить 0,014 кг/с для літніх умов та 0,016 кг/с для зимових умов.

Розроблений стартап-проект виробництва твердого біопалива з надлишкового активного мулу.

Доведено, що ціна на біопаливо з надлишкового активного мулу - значно нижча ніж на біопаливо іншого виду, за рахунок зменшення витрат на сировину.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Disposal and recycling routes for sewage sludge. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2001 ISBN 92-894-1800-1 European Communities, 2001 - 72 pages.
2. Шквірко О. М. Екологія та довкілля / О. М. Шквірко, І. С. Тимчук. – Львів: Львівська політехніка, 2019. – 82-86 с.
3. Ручай, Н. С. Экологическая биотехнология : учеб. пособие для студентов специальности «Биоэкология» / Н. С. Ручай, Р. М. Маркевич. – Минск : БГТУ, 2006. – 312 с.
4. Buser H-R. Occurrence of the pharmaceutical drug clofibric acid and the herbicide mecoprop in various Swiss Lakes and in the North Sea / H-R Buser, M.D. Müller, N. Theobald // Environ. Sci. Technol. 1998. Vol. 32. № 1. — P. 188–192.
5. Chelliapan S. Performance of an up-flow anaerobic stage reactor (UASR) in the treatment of pharmaceutical wastewater containing macrolide antibiotics / S. Chelliapan, T. Wilby, P. J. Sallis // Water Res, 2006. — № 40. — P. 507–516.
6. Душкин С. С. Ресурсосберегающие технологии очистки сточных вод: монография / С. С. Душкин, А. Н. Коваленко, М. В. Дегтярь, Т. А. Шевченко. — Х. : ХНАГХ, 2011. — 146 с.
7. Прохоров Ю.Ю. Дослідження кінетики сушіння надлишкового активного мулу та композицій на його основі / Ю.Ю. Прохоров, Л.І. Ружинська. – К. : НТУУ “КПІ ім. І. Сікорського”, 2017. - 8 с.
8. Воронов Ю.В. Водотведение и очистка сточных вод [Учебник для вузов] / Ю.В. Воронов, С.В. Яковлев – М.: Ассоциация строительных вузов, 2006 – 704 с.
9. Проданчук М. Г. Класифікація медичних відходів з урахуванням факторів небезпеки в проекті ДСанПіН «Правила поводження з медичними відходами» / М. Г. Проданчук, Л. І. Повякель, О. О. Бобильова, С. П. Бережнов. Сучасні проблеми токсикології, 2012. - 57–68 с.

10. Губанов Л. Н., Севостьянова С. М., Катраева Н. В. и др. Обработка осадков биологической очистки сточных вод предприятий пищевой промышленности. // ВСТ, 2010 - 43 -46 с.
11. Методы расчета оборудования биотехнологических производств : [учеб.-метод. пособие] / М. А. Миронов, М. И. Токарева ; [науч. ред. М. Н. Иванцова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2017. — 47 с.
12. Вязлов Р.Й. Процеси і апарати мікробіологічної та фармацевтичної промисловості [текст] / Ю.І. Сидоров, Р.Й. Влязло, В.П. Новіков. — Львів: «Інтелект-Захід», 2008. —736 с.
13. Гельфанд Е.Д. Основы биологической очистки сточных вод / Е.Д. Гельфанд. г. Архангельск 2012 – 12 с.
14. Барулин, Е.П. Расчет теплоиспользующего оборудования: [учеб. пособие] / Е.П. Барулин, В.Н. Исаев, А.И. Сокольский; Иван. Гос. Хим. – технол. Ун – т. – Иваново, 2009 – 100 с. ISBN 5-9616-0205-2.
15. Лотош В.Е. Переработка отходов природоиспользования / Ур ГУПС. – Екатеринбург, 2002. – 463 с.
16. Бернадинер М. Н. Термическое обезвреживание промышленных органических отходов / М.Н. Бернадинер, В.В. Жижин, В.В.Иванов - Экология и промышленность России. - 2000. 17–21 с.
17. Туровский И.С. Осадки сточных вод. Обезвоживание и обеззараживание. - М.: ДеЛи принт, 2008. - 375 с.
18. Andritz. Сушильные установки: кат. / Andritz - Германия, 2019. - 20 с.
19. Покровская Е.В. Утилизация осадков сточных вод / Покровская Е.В., Сергеева Т.Н. - Экология и промышленность России. - 2005. - Июнь. 23–25 с.
20. Дьяков М. С. Термическая утилизация избыточного активного ила муниципальных биологических очистных сооружений на примере г. Перми / М.С.Дьяков, Я.И. Вайсман, И.С. Глушанкова, Е.В. Калинина - Эква-тэк – 2008. Вода: Экология и технология: сб. докл. междунар. конгр. - М., 2008.

21. Дьяков М. С. Комплексная переработка осадков сточных вод нефтеперерабатывающих предприятий с получением товарных продуктов / М.С. Дьяков, И.С. Глушанкова, И.С. Гуляева // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. - 29–33 с.
22. Природоохоронні технології. Навчальний посібник. Ч.3: Методи переробки осадів стічних вод / [Петрук В. Г., Васильківський І. В., Безвознюк І. І., Петрук Р. В., Турчик П. М.] – Вінниця: ВНТУ, 2013. -324 с.
23. Ачеркан Н. С. Детали машин. Расчет и конструирование / Наум Самойлович Ачеркан. – Москва: Машиностроение, 1968. – 427 с.
24. Тимонин А. А. Основы конструирования и расчет химико-технологического и природоохоронного оборудования / Александр Андреевич Тимонин. – Москва: Калуга, 2002. – 845 с.
25. Аксенов В.И. Переработка осадков сточных вод. / Аксенов В.И., Мигалатий Е.В., Никифоров А.Ф - Екатеринбург: ГОУ УГТУ-УПИ, 2002. 75 с.
26. Долина Л.Ф. Осадки сточных и питьевых вод: проблемы и решения / Долина Л.Ф. Машихина П.Б. -Днепропетровск: «Континент», 2005. – 213 с.
27. Долина Л. Ф. Новые методы и оборудование для обеззараживания сточных и природных вод: Монография. - Днепропетровск ; Континент, 2003- 218с.
28. Беляева С. Д., Гюнтер Л. И. Управление осадками сточных вод- важнейшая экология проблема // ВСТ, 2007, -.5- 9 с.
29. Лаурс И. Стартап. Модель для сборки / Илья Лаурс., 2018. – 192 с.
30. Дорис Тамер. Механическая и термическая обработка осадка сточных вод // ВСТ, 2007 - 46 — 47 с.
31. Багатеев И. А., Керин А. С. и др. Разработка, проектирование и реализация систем обработки осадков сточных вод // ВСТ, 2009, - 32 — 36 с.
32. Левицкая Е. Г. Использование осадков сточных вод в качестве сырья при производстве строительных блоков и бетонов // Экология и промышленность, 2012, - 58 — 61 с.

## ДОДАТКИ

Додаток А. Патентний пошук

Найменування теми Лінія виробництва твердого біопалива, з розробкою пристрою для неперервного формування твердого біопалива, з використанням активного модулю Шифр теми B181m12.66.047.38.00-60

Етап Проектування пристрою та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень № B181m12.66.047.38.00-60, 06.09.2019 р.

Обґрунтування регламентного пошуку Предмет пошуку – Пристрій неперервної дії, для формування твердого біопалива (Об'єктом пошуку є винаходи та корисні моделі).

Початок пошуку 09.09.2019 р. Закінчення пошуку 13.10.2019 р.

Таблиця 1 - Регламент пошуку (форма Б.1 згідно з ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Мета пошуку інформації	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК,НПК,МКПЗ, МКТП,УДК	Ретроспек- тивність пошуку	Джерела інформації
1	2	3	4	5	6
Пристрій неперервної дії, для формування твердого біопалива	Визначення патентоздатності пристрою, що проектується, та тенденцій розвитку цього напрямку в техніці	Україна, Російська Федерація, СРСР, США	F26, F26B, F16, B60, A23	2007-2019	Описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені України, Роспатенту, , підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології

ДОВІДКА ПРО ПОШУК № БІ81мп12.66.047.38.00-60

Завдання на проведення патентних досліджень № БІ81мп12.66.047.38.00-60

Етап Проектування апарата та його складових частин

Номер, дата завдання на проведення патентних досліджень № БІ81мп12.66.047.38.00-60, 06.09.2019 р.

Номер, дата регламенту пошуку № БІ2101.31043.000.00-60, 23.04.2018 р.

Початок пошуку 09.09.2019 р. Закінчення пошуку 13.10.2019 р.

Таблиця 2. Джерела інформації, використані під час проведення пошуку (форма В.1 згідно з ДСТУ 3575-97)

Предмет пошуку (ОГД, його складові частини)	Держава пошуку	Класифікаційні індекси: МПК, НПК, МКТЗ, МКТТ, УДК	Інформаційна база, використана під час пошуку	Бібліографічні дані першого та останнього за хронологією джерела інформації	
				Патентна інформація	Інша науково- технічна інформація
1	2	3	4	5	6
Пристрій неперервної дії, для формування твердого біопалива	Україна, Російська Федерація, США	F26, F26B, F16, B60, A23	Науково-технічна бібліотека НТУУ „КПІ”, Науково- технічна бібліотека України	Описи до винаходів, офіційні патентні бюлетені України, Роспатенту, та баз даних патентних установ США	Підручники й навчальні посібники з курсу процесів та апаратів хімічної технології

Таблиця 3. Патентна документація, відібрана для подальшого аналізу

ОГД, його складові частини	Документи на об'єкти промислової власності	
	Бібліографічні дані	Відомості щодо їхньої дії
1	2	3
Стрічкова сушарка для термолабільних матеріалів	Патент №U/A113700 на винахід, МПК A23B 7/02, F26B 15/18, F26B 17/04(2006.01), «Стрічкова сушарка для термолабільних матеріалів» / Снежкін Ю.Ф., Сорокова Н.М., Шапар Р. О., заявник Інститут технічної теплофізики національної академії наук України. — № а 2016 00616; заявл. 25.05.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл.№ 4, 2017 р.	Діє
Установка для фільтраційного сушіння сипких матеріалів	Патент № UA97497 на корисну модель, МПК F26B 17/00(2006.01),«Установка для фільтраційного сушіння сипких матеріалів» / Цуркан О. В., Римар Т. І., Герасимов О. О., заявник Вінницький національний аграрний університет. - № а 2014 07632; заявл. 05.09.2014; опубл. 25.03.2015.	Діє
Drying system with improved energy efficiency and capacity control	Патент 16/461485 (US), МПК F26B 21/086 20130101, F26B 21/12 20130101, F26B 23/001 2013010. «Drying system with improved energy efficiency and capacity control»/ Gea Process Engineering A/S. - заявл. 18.11.2016, опубл. 14.11.2019.	Діє



1	2	3
<p>Барабанная сушилка для сыпучих материалов</p>	<p>Патент № RU2382965 (РФ), МПК F26B11/04, «Барабанная сушилка для сыпучих материалов» / Выхованко С. В., Печерский А. В., Игнатов Г. Н., Заявник ООО "Научно-производственное Предприятие Цемент-Новые Технологии" (RU) - заявл. 15.06.2009; опубл. 31.02.2010.</p>	<p>Діє</p>
<p>Устройство для сушки осадка, активного ила или отстоя промышленных и бытовых сточных вод</p>	<p>Патент № RU2446371 (РФ), МПК F27B15/02, F26B17/02, «Устройство для сушки осадка, активного ила или отстоя промышленных и бытовых сточных вод» / Колесник Ю. В., Мешентиссер Ю. М., Журба М. С., Заявник Научно-производственная фирма с ограниченной ответственностью "Экополимер" (UA) - заявл. 12.06.2010; опубл. 26.10.2010.</p>	<p>Діє</p>
<p>Сушарка для стручковых газопроникных материалов</p>	<p>Патент №UA38610 на корисну модель, МПК F26B 3/06(2006.01), «Сушарка для стручковых газопроникных материалов» / Балабан С. М., Чиж В. М., заявник Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. — № 11 2008 09343; заявл. 17.07.2008; опубл. 12.01.2009, Бюл.№ 1, 2009 р.</p>	<p>Дію патенту припинено, але може бути поновлено</p>

Конверсна стрічкова сушарка	Патент №UА86027 на корисну модель, МПК F26В 3/06(2006.01), «Конверсна стрічкова сушарка» / Іващенко Н. В., Буляндра О. Ф., Шутюк В. В., Вербицький Б. І., заявник Національний університет харчових технологій. — № и 2013 07343; заявл. 10.06.2013; опубл. 10.12.2013.	Діє
-----------------------------	---	-----

## Додаток Б. Творчий доробок

1. Хиля Б.О., Ружинська Л.І. Обладнання для виготовлення біопалива з надлишкового активного мулу. *Біотехнологія XXI століття: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф.*, 19 квіт. 2019 р. Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2019. С.159.

УДК 628.355

### ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ БІОПАЛИВА З НАДЛИШКОВОГО АКТИВНОГО МУЛУ

Хиля Б.О., Ружинська Л.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», пр. Перемоги, 37, 03056,  
[bogdankpi@ukr.net](mailto:bogdankpi@ukr.net)

Обсяг надлишкового активного мулу сягає приблизно 30 % від обсягів стічної води, що надходить на очищення[1]. За рахунок цього утворюються, так звані "мулові поля", що мають колосальні розміри і специфічний запах. Тут постає питання про переробку надлишкового активного мулу. Існує декілька способів переробки активного мулу, виготовлення добрив та спалювання. Спалювання активного мулу може відбуватися у декілька способів: у спеціальних печах, при вологості 45-55% або переробка активного мулу у тверде біопаливо[2]. Щоб виготовити біопаливо з активного мулу, сировина має пройти декілька етапів сушіння і формування. Так як мулова маса має вологість 97-98 %, спочатку до маси активного мулу вводять флокулянти, для підвищення водовіддачі, а потім фільтрують на вакуум-фільтрах, фільтр-пресах, центрифугах або сепараторах до вологості 75 %. Найкраще себе зарекомендувала горизонтальна шнекова центрифуга(Рис 1). Мул подається в трубу 1 порожнистого шнека 7 і через отвори 4 подається в приймальну камеру ротора 6. Під дією відцентрової сили найбільш важкі частинки осаду притискаються до внутрішньої поверхні ротора, переміщуються шнеком через вікно 8 в трубу бункера 5. Фугат випадає через зливні отвори 2 та зливну трубку 3[1]. Потім мулова маса надходить на досушування. Досушування відбувається на стрічкових сушарках(Рис 2) або сушарках псевдозрідженого шару.

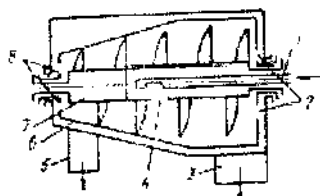


Рис 1. Горизонтальна шнекова центрифуга неперервної дії



Рис 2. Стрічкова сушарка: 1 – стрічковий конвеєр, 2 – розкрилювач, 3 – вентилятор, 4 – решітка, 5 – паровий калорифер, 6 – шнек

Для забезпечення форми твердого біопалива, зазвичай до початкового активно мулу додаються наповнювачі у вигляді відходів деревообробної або сільськогосподарської промисловостей.

#### Література:

1. Аксенов В. И. *Переработка осадков сточных вод* / В. И. Аксенов, Е. В. Мисаляний, А. Ф. Никифоров – Екатеринбург: ГОУ ВГГЗ-УПИ, 2002. – 75 с.
2. Гельфанд Е. Д. *Технология биотоплива* / Е. Д. Гельфанд. // Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. Архангельск – 2012. – С. 20–21.

2. Заявка на отримання патенту на корисну модель: «Пристрій неперервної дії для виробництва твердого біопалива» / Хиля Б.О., Ружинська Л.І., Костик С.І.; Україна : МПК Р26В 15/10. № и 2019 08593; заяв. 18.07.19.

## ДОВІДКА

Видана автору корисної моделі Хилі Богдану Олександровичу в тому, що заявка на корисну модель «Пристрій неперервної дії для виробництва твердого біопалива» № u201908593 подана до Інституту інтелектуальної власності 18.07.2019 патент на корисну модель буде виданий після закінчення етапу експертизи заявки.




Заступник начальника відділу  
з трансферу технологій

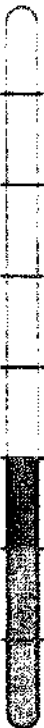


*Орешникова О.О.*  
12.2019

СТАН ДІЛОВОДСТВА ЗА ЗАЯВКОЮ НА ВИНАХІД (КОРИСНУ МОДЕЛЬ) № u201908593

ПОЗНАЧЕННЯ

-  Успішно пройдена стадія
-  Поточна стадія
-  Стадія, що не використовується у діловодстві за заявкою





- Патент зареєстровано
- Підготовка до державної реєстрації та публікації
- Очікування документа про сплату державного мита
- Кваліфікаційна експертиза
- Очікування клопотання про проведення кваліфікаційної експертизи
- Формальна експертиза
- Встановлення дати подання
- Реєстрація первинних документів, попередня експертиза та введення відомостей до бази даних

ДОКУМЕНТИ ЗАЯВНИКА

Дата реєстрації	Дата отримання	Дата отримання	Назва документа	Номер документа
18.07.2019			Креслення	19/ЗУ/Вх№53335
18.07.2019			Формула винаходу (КМ)	19/ЗУ/Вх№53333
18.07.2019			Документ, що підтверджує неприбутковість особи	19/ЗУ/Вх№53331
18.07.2019			Заява на видачу патенту на винахід (КМ)	19/ЗУ/Вх№53329
18.07.2019			Опис винаходу (КМ)	19/ЗУ/Вх№53332
18.07.2019			Реферат	19/ЗУ/Вх№53334
18.07.2019			Квитанція	19/ЗУ/Вх№53330

ДОКУМЕНТИ УКРПАТЕНТУ

Для завантаження оригіналу документу та ЕЦП, використовуйте в якості коду 10 останніх цифр штрихкоду на документі

Дата реєстрації	Дата видачі	Дата отримання	Назва документа	Номер документа	Зображення
15.08.2019	20.08.2019		Рішення про встановлення дати подання заявки на винахід (корисну модель)	20953/ЗУ/19	 

ЗБОРИ

Код збору	Початок обчислення	Планова дата нарахування	Фактична дата нарахування	Місце нарахування
10100	18.07.2019	18.09.2019	09.07.2019	За подання заявки (міжнародної заявки) на винахід (корисну модель), формула якого містить не більш як 3 пункти

## Додаток В. Специфікації

Формат	Зона	Лист	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
A1			БІ81мп12.66.04.7.38.00-60 СБ	Пристрій неперервної дії для формування твердого біопалива	4	
				Складальне креслення		
				Складальні одиниці		
		1		Вал ведучий	1	
		2		Вал ведений	1	
		3		Вал гарячого формування	1	
		4		Ліва опора ведучого вала	1	
		5		Стрічка	1	
		6		Валок амортизуючий	3	
		7		Опора валків амортизуючих	2	
		8		Перекладина зміцнююча	2	
		9		Напрямна зона завантаження	2	
		10		Напрямна зони сушіння	2	
		11		Напрямна зони різання	2	
		12		Напрямна зони відвантаження	2	
		13		Опора веденого вала	2	
		14		Права опора формуючих валів	1	
		15		Права опора ведучого вала	1	
		16		Електродвигун валів формування	1	
		17		Кришка зони сушіння	5	
		18		Ліва стінка зони сушіння	5	
		19		Кришка веденого вала	3	
		20		Кришка формуючого вала	2	

					БІ81мп12.66.04.7.38.00-60			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Пристрій неперервної дії для формування твердого біопалива	Літ.	Аркциш	Аркцишів
Розроб.		Хілія Б.О.	<i>[Signature]</i>	12.12.19			1	4
Перев.		Рижинська Л.	<i>[Signature]</i>	12.12.19				
Н. контр.		Рижинська Л.	<i>[Signature]</i>	12.12.19		НІЧ/КП ім. Іаря Івченко ФБТ, БІ-81мп		
Затв.		Мельник В.М.	<i>[Signature]</i>	12.12.19				



Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		21		Електропривід ножа	1	
		22		Ніж	1	
		23		Стіка електродія на ведучого вала	1	
		24		Електродвигун ведучого вала	1	
		25		Ущільнювач валу зрізної форми	1	
		26		Ковпачок	1	
		27		Стіка електродія на формуючого вала	1	
		28		Горизонтальна опора зони сушіння	5	
		29		Вертикальна опора зони сушіння	5	
		30		Права діагональна перекладина	5	
		31		Ліва діагональна перекладина	5	
		32		Права стінка зони сушіння	5	
		33		Штуцер	10	
		34		Зміювик	5	
		35		Ліва опора формуючих валів	1	
		36		Труба піддувоча відділювача	1	
		37		Фіксатор сальникового ущільнювача	1	
				Деталі		
		38		Кільце	1	D=100 мм
		39		Гайка фіксації вала	1	D=50 мм
		40		Фланець	1	D=95 мм
		41		Корпус циліндричної передачі		
				формуючого вала	1	
		42		Кришка циліндричної передачі		
				формуючого вала	1	
		43		Кутак кріпильний валу формуючого	4	
		44		Опора електродія на валу формуючого	1	
		45		Фіксатор валка амортизуючого	6	
		46		Гайка фіксації вала	2	D=100 мм
		47		Кутак кріпильний ведучого вала	4	
		48		Опора електродія на ведучого вала	1	
		49		Кришка		D=180 мм
		50		Гайка фіксації вала		D=190 мм
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	БІ81мп12.66.04 7.38.00-60	
					Лист 2	

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
		51		Кришка циліндричної передачі ведучого вала	1	
		52		Корпус циліндричної передачі формуючого вала	1	
		53		Зубчасте колесо	1	D=100 мм
		54		Зубчасте колесо	1	D=20 мм
		55		Зубчасте колесо	1	D=200 мм
		56		Зубчасте колесо	1	D=40 мм
		57		Кільце	2	D=20 мм
		58		Кільце	1	D=200 мм
		59		Кільце	2	D=40 мм
				<u>Стандартні вироби</u>		
		60		Шайба А 6.37 ГОСТ 10450-78	8	
		61		Болт М8х60 ГОСТ 15591-70	4	
		62		Болт М16х50 ГОСТ 15591-70	8	
		63		Гайка М16х15-6Н ГОСТ 15524-70	8	
		64		Шайба А 16.37 ГОСТ 10450-78	8	
		65		Болт М6х20 ГОСТ 15591-70	40	
		66		Болт М16х30 ГОСТ 15591-70	8	
		67		Болт М8х30 ГОСТ 15591-70	14	
		68		Гайка М8-8Н ГОСТ 15524-70	14	
		69		Шайба А 8.37 ГОСТ 10450-78	14	
		70		Гайка М6-6Н ГОСТ 15524-70	8	
		71		Болт М12х20 ГОСТ 15591-70	16	
		72		Болт М12х30 ГОСТ 15591-70	12	
		73		Гайка М12х15-6Н ГОСТ 15524-70	12	
		74		Шайба А 12.37 ГОСТ 10450-78	12	
		75		Болт М6х25 ГОСТ 15591-70	4	
		76		Болт М6х10 ГОСТ 15591-70	4	
		77		Шанка 8х5х38 ГОСТ 23360-78	1	
		78		Підшипник 20 ГОСТ 8338-75	2	
		79		Шайба А 20.37 ГОСТ 10450-78	32	
		80		Шанка 15х10х50 ГОСТ 23360-78	1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	БІ81мп12.66.04 7.38.00-60	
						Лист 3

[illegible]